

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

Ekologické aspekty využívání tradičních zdrojů

Environmental matters of conventional energy sources

2010

Roman Kulhánek

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Roman Kulhánek**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Ekologické aspekty využívání tradičních zdrojů**
Environmental matters of conventional energy sources

Zásady pro vypracování:

V bakalářské práci zpracujte následující problematiku:

- o Druhy tradičních zdrojů elektrické energie a jejich palivo.
- o Stávající využití v české republice a ve světě.
- o Současná legislativa.
- o Možnosti, trendy a předpoklady pro rozšíření tradičních zdrojů.
- o Eliminace negativního vlivu na životní prostředí
- o Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- o Brauner J., Šindler Z.: Elektrická část elektráren, VŠB Ostrava 1987
- o Dočekal A., Bouček S.: Elektrárny II, ČVUT Praha 1995
- o Barabas K.: Jaderné elektrárny, ČVUT v Praze, 1985
- o Vyhláška č. 540-2005 Sb o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice
- o Pravidla provozování distribučních soustav, příloha č. 2
- o Další podle pokynů vedoucího práce
- o <http://www.eru.cz>

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Radomír Goňo, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

7.5.2010

podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Doc. Ing. Radomíru Goňovi, Ph.D., který mi pomáhal a radil při tvorbě této závěrečné práce.

Abstrakt

Práce pojednává o jaderných a tepelných elektrárnách, jejich palivu a vlivu na životní prostředí. Shrnuje současnou situaci v České republice a ve světě. Dále popisuje technologii výroby elektrické energie tepelných a jaderných elektráren, její zlepšení a modernizaci. Rozebírá vlivy elektráren působící na životní prostředí a vyhodnocuje metody eliminace těchto negativních vlivů. Závěrem se zabývá vývojem nových technologií výroby elektrické energie v budoucnu, a také se zabývá snižováním negativního dopadu na životní prostředí.

Klíčová slova

Tepelné elektrárny, Jaderné elektrárny, Fosilní paliva, Uran, Jaderný reaktor, Energetický zákon, elektrická energie, Termojaderná fúze, Zplyňování uhlí, Životní prostředí

Abstract

Work treat of eukaryotic plus heat power station, their firing plus environmental impact. Summarizes contemporary situation in Czech Republic plus in the world of. Further describes technology electricity production heat plus eukaryotic power station, her improvement plus modernizing. Construes influences power station applied on environment plus evaluates method elimination these negative influences. In fine deal with development new technology electricity production in future, as well as deal with dispraise negative impact on environment.

Key words

Heat power station, eukaryotic power station, fossil fuel, Uranus, pile, energy act, electrical energy, thermonuclear amalgamation, coal gasification, environment

Seznam některých použitých zkratek

OPEC	organizace zemí vyvážející ropu
IGCC	integrace tlakového zplyňování a paroplynového cyklu
EPR	evropský tlakovodní reaktor
VVER	vodo-vodní energetický reaktor
PWR	tlakovodní reaktor
BWR	varný reaktor

Obsah

1 Úvod

2 Druhy tradičních zdrojů elektrické energie a jejich palivo

- 2.1 Kondenzační elektrárny a teplárny
- 2.2 Elektrárny se spalovacími turbínami
- 2.3 Elektrárny na kapalné palivo
- 2.4 Elektrárny na spalování plynu
- 2.5 Jaderné elektrárny
- 2.6 Fosilní paliva
 - 2.6.1 Ropa
 - 2.6.2 Zemní plyn
 - 2.6.3 Uhlí
 - 2.6.4 Jaderné palivo

3 Stávající využití ve světě a v české republice

- 3.1 Stávající využití v ČR
- 3.2 Stávající využití ve světě

4 Současná legislativa

- 4.1 Energetický zákon
- 4.2 Podmínky připojení k elektrizační soustavě

5 Možnosti, trendy a předpoklady pro rozšíření tradičních zdrojů

- 5.1 Kogenerace a zplyňování uhlí
- 5.2 Integrace tlakového zplyňování a paroplynového cyklu IGCC
- 5.3 Trendy vývoje
- 5.4 Nová generace jaderných reaktorů
- 5.5 Termojaderná fúze

6 Eliminace negativního vlivu na životní prostředí

- 6.1 Vliv elektráren na fosilní paliva
- 6.2 Eliminace negativního vlivu na životní prostředí uhelných elektráren
- 6.3 Vliv jaderných elektráren
- 6.4 Eliminace vlivu na životní prostředí jaderných elektráren

1 Úvod

V dnešní době je elektrická energie nedílnou součástí našeho života. Využívá se snad ve všech výrobních procesech a domácnostech k napájení veškerých spotřebičů. Elektrickou energii neumíme skladovat, proto se musí neustále vyrábět a dodávat do sítě takové množství jaké je momentálně zapotřebí. To klade velké nároky na elektrárny a jejich spolehlivost. Každá elektrárna sebou nese určité pozitivní a negativní vlivy na životní prostředí. Zvláště pak tepelné a jaderné elektrárny, které se podílejí na výrobě elektrické energie z největší části. V této práci jsem se zabýval právě těmito dvěma způsoby výroby elektrické energie a jejich ekologickými aspekty. Nejdřív jsem zpracoval technologii výroby el. energie, a to pro každou elektrárnu spalující jiné fosilní palivo. U jaderných elektráren jsem se zaměřil na jaderný reaktor a jeho typy. Abychom mohli energii vyrábět je potřeba dodávat elektrárnám palivo. Kapitola o palivu popisuje těžbu, zpracování a přípravu paliva, než dojde k jeho upotřebení. Dále je v práci shrnuta současná situace podílu výroby el. energie z různých zdrojů, a to jak u nás tak ve světě. Následující část je věnována energetickému zákonu a podmínkám připojení do elektrizační sítě. V další kapitole se zabývám novými technologiemi výroby elektrické energie. Jedná se hlavně o snížení spotřeby paliva, zvýšení účinnosti elektráren a snížení negativního dopadu na životní prostředí. Právě v poslední kapitole se soustřeďuji na eliminaci negativních vlivů elektráren na životní prostředí. Jsou v ní popsány jednotky a zařízení pro zabránění úniku skleníkových plynů do atmosféry a bezpečnostní opatření a zabezpečení jaderných elektráren.

2 Druhy tradičních zdrojů elektrické energie a jejich palivo

2.1 Kondenzační elektrárny a teplárny

Kondenzační elektrárny jsou určeny pouze k výrobě elektrické energie. Přehřátá pára z kotle přichází do parní turbíny, odkud expandovaná pára po vykonání práce odchází do kondenzátoru ochlazovaného chladicí vodou, kde kondenzuje. V kondenzátoru se vytváří podtlak. Chlazení může být buď průtočné, kdy se voda přivádí z vodního zdroje a pak ohřátá se tam vrací, nebo pomocí chladících čerpadel cirkuluje chladicí voda přes chladicí věž. Kondenzát je odčerpáván kondenzačními čerpadly do nádrže napájecí vody, kam se rovněž přivádí upravená přídavná voda k doplnění ztrát v celém oběhu. Z nádrže je voda čerpána napájecími čerpadly do kotle a tím je celý okruh voda-pára uzavřen. Palivo spalované v kotli odevzdává tepelnou energii vodě a páře a část nevyužitého tepla ve formě kouřových plynů odchází jako ztráta ven do ovzduší. Zde není uzavřen tepelný okruh.

V teplárnách jsou parní turbíny přizpůsobené odběru páry do tepelné sítě. Použité turbíny jsou protitlakové, kde tlak výstupní páry odpovídá požadavkům tepelného odběru, nebo turbíny s regulovatelným odběrem páry. Elektrický výkon soustrojí s protitlakovými turbínami závisí v každém okamžiku na množství odebírané páry. Protitlakové turbíny se dávají tam, kde se počítá s dlouhodobým a stálým odběrem. Odběrové turbíny mají kondenzátor a jeden nebo více regulovatelných odběrů páry. Kondenzátor odběrových turbín může být dimenzován na plný elektrický výkon alternátoru nebo jsou jeho rozměry omezeny. V tomto případě jmenovitý elektrický výkon může být dosažen jen za současného odběru páry. Teplo může být odebíráno do tepelné sítě ve formě páry požadovaných parametrů. Snahou teplárny je dostat co nejvíce kondenzátu zpět od spotřebitelů tepla. Odběr páry se týká převážně průmyslu.

Dále můžeme z odběrové turbíny její expandované teplo odebírat pro samotný tepelný oběh elektrárny tzn. turbína pracuje v regeneračním pochodu. Toto teplo se využívá k ohřívání napájecí vody. Rozdíl mezi kombinovanou výrobou elektrické a tepelné energie s vnějším konzumentem tepla a prací regenerační turbíny v regeneračním pochodu je v tom, že u prvního případu elektrárna spotřebuje více paliva než při čistě kondenzačním pochodu, zatímco při regeneračním pochodu se spotřeba paliva snižuje, protože část tepla se vrací do kotle s napájecí vodou. Při regeneračním ohřevu napájecí vody se přivádí pára z několika stupňů regulovaných odběrů kondenzační turbíny do ohříváku napájecí vody, kterými proudí vratný kondenzát z kondenzátoru do kotle. Význam regeneračního ohřevu roste se stoupajícími parametry páry kotle, kdy taky stoupá spotřeba tepla k ohřátí vody na bod varu. [1]

2.2 Elektrárny se spalovacími turbínami

Na společném hřídeli je spalovací turbína, vzduchový kompresor, alternátor a pomocný elektrický motor k nájíždění celého zařízení. Do spalovací komory je přiváděno palivo a stlačený vzduch z kompresoru. Palivo se spaluje ve spalovací komoře za stálého tlaku a směs zplodin hoření paliva a vzduchu přichází jako pracovní látka do turbíny, kde expanduje a pak vystupuje do okolí. Jelikož teplota spalin převyšuje 2500°C, přivádí se do spalovací komory vzduch se značným přebytkem tak, aby se směs ochladila na teplotu únosnou pro žáruvzdorný materiál spalovací turbíny. Teplota směsi před vstupem do turbíny se pohybuje od 600°C do 800°C. Spalovací turbína tedy

pohání alternátor a kompresor a proto její užitečný výkon přeměněný v elektrickou energii se rovná rozdílu výkonu turbíny a příkonu kompresoru. Vývoj spalovacích turbín je podmíněn pokroky v technologii výroby žáruvzdorných materiálů a zlepšením konstrukce a účinnosti vzduchových kompresorů, protože příkon kompresoru spotřebuje až 70% celkového výkonu spalovací turbíny. [1]

2.3 Elektrárny na kapalném palivu

Spalují většinou těžkou frakci při rafinaci ropy, což je mazut. Mazut má poměrně vysoký bod tuhnutí okolo 10°C, a proto musí být uskladňován a dopravován do kotle v ohřátém stavu. Ze zásobních nádrží ohříváných párou přichází mazut do čerpacích stanic a tlakem 1 až 2,5MPa se vstříkují přes filtry do kotelních hořáků. Hořáky mohou být kombinované na spalování mazutu a uhelného prášku. Některé druhy mazutu mají značný obsah síry. Při spalování se tvoří kyselina sírová která působí korozivně. Při spalování takového mazutu se musí udržovat poměrně vysoká teplota kouřových plynů na výstupu z kotle. Investiční náklady při výstavbě elektrárny na kapalném palivu jsou nižší než u elektrárny na tuhém palivu. Vedle toho jsou lepší možnosti automatizace provozu protože kapalném palivo na rozdíl od uhlí má stálou výhřevnost. [1]

2.4 Elektrárny na spalování plynu

Spaluje se převážně zemní plyn. Tento plyn pro elektrárny bývá přiváděn dálkovým potrubím tlakem 4MPa a výše. Na místě spotřeby se jeho tlak redukuje na provozní tlak kotelních hořáků, který nepřesahuje 0,1MPa. V redukční stanici je vedle tohoto umístěno automatické regulační zařízení, kterým se udržuje stálý tlak. Funguje i jako pojistné zařízení, kterým se uzavírá přívod plynu při náhlém poklesu nebo stoupnutí tlaku plynu v síti. V kotelně je taky rychlouzávěr plynu, který reaguje taky na pokles plynu. Provoz elektrárny na zemní plyn je velmi čistý a hospodárny a podobně jako při spalování kapalného paliva umožňuje úplnou automatizaci. Při spalování zemního plynu je však nutno dbát na dodržování bezpečnostních předpisů, protože směs plynu se vzduchem při koncentraci plynu 3 až 13% je prudce výbušná. Zejména při najíždění kotle je nutno předem dobře vyvětrat spalovací komoru. [1]

2.5 Jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny jsou založeny na principu štěpení jader atomů těžkých prvků uranu a plutonia. Rozdíl mezi parní elektrárnou a jadernou elektrárnou je v tom, že v prvním případě teplo vzniká v kotli, kdežto v druhém případě se teplo uvolňuje v jaderném reaktoru štěpením jaderného paliva. Jelikož v průběhu jaderné reakce vzniká vedle tepelné energie i radioaktivní záření musí mít jaderné elektrárny dostatek bezpečnostních prvků před nebezpečnými účinky tohoto záření.

Přeměna tepelné energie v mechanickou a v elektrickou může probíhat buď v oběhu paroturbínovém nebo plynoturbínovém. Dosud převažuje v jaderných elektrárnách oběh paroturbínový v důsledku poměrně nízké teploty tepelného média po výstupu z reaktoru, neboť hospodárnost provozu spalovací turbíny je podmíněna vysokou teplotou vstupních plynů.

Jaderná elektrárna se tedy skládá z části reaktorové kde je umístěn reaktor s oběhovými čerpadly, s regulačním zařízením a se zařízením pro výměnu palivových článků, popřípadě s parními generátory, v nichž voda ohřátá tepelným médiem z reaktoru se přeměňuje v páru pro parní turbínu a z druhé části strojovny, která se podstatně neliší od strojovny klasické parní elektrárny. V jaderném reaktoru, který je obklopen železobetonem sloužící jako biologická ochrana proti zhoubným účinkům záření, se odvádí proudícím kapalným nebo plyným chladivem do parního generátoru v jehož sekundárním obvodu je zařazena parní turbína pohánějící alternátor.

V současné době je v provozu řada různých typů reaktorů. Jejich rozdíl je dán různou koncepcí týkající se třech hlavních komponent tvořících aktivní zónu reaktorů:

- Palivo, obsahující štěpné materiály. Při každém štěpení je uvolňováno teplo a vznikají neutrony, zajišťující udržení řetězové reakce a tím i výrobu tepla.
- Moderátor, materiál, který srážkami s rychlými neutrony vznikající při štěpení snižuje jejich energii. Neutrony jsou zpomalovány na úroveň tepelné energie a při této energii jsou zachycovány štěpitelnými jádry a působí štěpení.
- Chladivo, látka sloužící pro odvod tepla z aktivní zóny a pro výrobu páry.

Neutrony hrají v jaderných reaktorech úlohu podobnou úloze molekul kyslíku při chemickém spalování. Jejich tok musí být regulován a je nutno na nejmenší míru snížit jejich ztráty, aby bylo zajištěno ekonomické využití paliva.

Systémy jaderných reaktorů lze v podstatě rozdělit na dvě hlavní skupiny podle toho, zda pracují s palivem tvořeným přírodním uranem nebo uranem obohaceným izotopem U^{235} . Reaktory s přírodním uranem mají obecně vyšší počáteční investiční náklady, ale náklady na palivo jsou nižší, protože odpadá obohacování a tyto reaktory spotřebovávají pro stejné množství energie asi o 15% méně uranu. To vše vede k řadě typů reaktorů podle kombinací paliva, moderátoru a chladiva.

- plynem chlazené a grafitem moderované reaktory
- lehkovodní reaktory
- těžkovodní reaktory
- lehkou vodou chlazené a grafitem moderované reaktory

[3]

2.6 Fosilní paliva

Ropa, uhlí, zemní plyn jsou v současné době energetickým základem téměř ve všech zemích. Jejich zásoby jsou poměrně dobře známy, avšak jsou ve světě rozloženy velmi nerovnoměrně. S dobýváním různých paliv, jejich dopravou a zpracováním do použitelné formy jsou spojeny důsledky týkající se životního prostředí a zdraví obyvatelstva. Tyto důsledky závisí na podmínkách a umístění ložisek, na nečistotách, které obsahují, a na možných haváriích během těžby a transportu. K tomu, aby byla z fosilních paliv získána energie, je nutno je spálit. V průběhu spalování jsou do vzduchu vypouštěny znečišťující látky a oxid uhličitý, obsažené v palivu nebo vznikající v procesu hoření, a je spotřebováván kyslík. To může při dlouhodobém používání způsobit vážné problémy se znečištěním životního prostředí. [3, 7]

2.6.1 Ropa

Ropa vznikla ze zbytků rostlin a zvířat, které žily před mnoha miliony lety ve vodě. Ropa vznikala ve třech fázích. První fáze byla asi před 300 - 400 miliony lety. Tehdy se zbytky začaly usazovat na dno oceánu a pak je překryl písek a bláto. Před 50 - 100 milionu lety, zbytky už byly překryté velkou vrstvou písku a bláta, která tvořila ohromný tlak a vysoké teploty. V těch příležitostech vznikly surová ropa a zemní plyn. Dnes se vrtá skrz tlusté vrstvy písku, bláta a skal, aby se dostalo k ropě. Dříve než začne vrtání skrz všechny vrstvy, vědci a inženýři zkoumají složení ve skalách. Jestli složení skály ukáže, že je to možné ložisko ropy začíná vrtání. Velký problém během vrtání a transportu je možnost vytékání ropy do okolí. Nové technologie umožňují přesnost nalezení ropy, a to znamená menší počet nutných ropových vrtů. Od roku 1990 existuje zákon podle kterého každá nová tanková loď musí mít dvojité obložení, aby se znemožnil výlev ropy do moře během havárie. Přes všechny zlepšení ve vrtání a transportu, ještě stále se stávají výlevy ropy do moře a to má za následek téměř úplné zničení rostlin a zvířat v té části moře. Přestože je znečišťování moře vyléváním surové ropy nebezpečné, v porovnání se znečišťováním vzduchu používáním ropových derivátů se může zanedbat. Během spalování ropových derivátů se osvobozuje velké množství oxidu uhličitého do atmosféry.

Ropa se nachází stlačena v drobných pórech mezi skalami pod velmi vysokým tlakem. Při provrtání do hloubky, kde se nacházejí póry s ropou se ropa pod tlakem nahrne ven skrz vrt. Dříve se stávalo že se velké množství ropy rozlilo kolem vrtů, kvůli nepřipravenosti. Na začátku těžby přírodní tlak honí ropu ven a potom se čerpá z vrtů.

Spojené státy vynikají ve spotřebě, protože se tradičně spoléhají na fosilní paliva. Ve výrobě vyniká Saudská Arábie, a další jsou Rusko a USA, jak je patrné z obrázku 1. Spojené státy nevyrábí dostatečně pro své potřeby, a proto jsou přinuceny na dovážení ropy. Hlavní dovozce do USA jsou Mexiko a státy blízkého a středního východu. V státech středního a blízkého východu jsou i největší zásoby ropy. Tady vyniká Saudská Arábie s 264,2 miliardy barelu zásob. Z toho všeho je jasné proč se USA zaplétají do politiky států blízkého a středního východu a pochopitelná je vojenská přítomnost USA v těchto státech. Státy vývozce ropy formovaly organizaci států OPEC a tato organizace kontroluje cenu a kvantitu ropy, která se vyrábí. Členské státy jsou: Alžír, Indonésie, Írán, Irák, Kuvajt, Libye, Nigerie, Katar, Saudská Arábie, Spojené Arabské Emiráty a Venezuela. S ohledem na to že je vývoz ropy nejvýznamnější část hospodářství těchto států scházejí se minimálně dvakrát ročně, aby určily optimální kvantitu výroby. Členské státy OPEC vyrábějí kolem 40% celkové výroby ropy a v zásobách je tři čtvrtiny celkových zásob na světě. [5, 7]

2.6.2 Zemní plyn

Metan je základní část zemního plynu. Metan je jednoduchá sloučenina, která se skládá z jednoho atomu uhlíku a čtyř atomů vodíku, je velmi zápalný a shoří úplně. Po spalování nezůstává popel, a znečišťování vzduchu je velmi malé. Zemní plyn nemá barvu, chuť, vůni ani tvar ve své přírodní formě a proto je nepozorovatelný. Kvůli tomu se do něj přidávají vůně, aby byl identifikovatelný. V mnoha případech je zemní plyn ideální fosilní palivo, protože je čistý, jednoduchý pro transport a komfortní pro používání. Je čistější než ropa a uhlí, a proto se stále více považuje za řešení pro klimatické změny a problémy se špatnou kvalitou vzduchu. Na rozdíl od ropy má zemní plyn menší emisi oxidu uhličitého do atmosféry pro stejné množství energie.

U čerpání zemního plynu ještě stále existují limity kvůli dnešní technologii. Zemní plyn se nenachází jenom v kapsách, ale v mnoha případech se nachází s ropou. Často se ropa a zemní plyn

čerpají ze stejného naleziště. Jako i u výroby ropy, část zemního plynu samostatně přijde na povrch kvůli velkému tlaku v hloubkách. Takové typy plynových vrtů vyžadují jenom systém rour, pro kontrolování průtoku plynu. Stále je méně takových vrtů, protože většina tohoto plynu je vyčerpána. Kvůli tomu se musí používat některý druh čerpání z podzemí. Nejčastější jsou čerpadla, která zvedají a spouští prut do vrtu a ven a tím způsobem se čerpá zemní plyn a ropa na povrch. Často se průtok plynu může zlepšit tak, že se vytvoří drobné skuliny ve skálách které se používají jako pěšina pro průtok plynu. Do skal se pod velkým tlakem čerpá tekutina, která rozbije skálu.

Zemní plyn nalézáme v různých podzemních tvarech. Některé formace jsou těžší a dražší pro využívání. Když se zemní plyn vyčerpá na povrch, přes systémy plynovodu se ukládá do skladů a potom putuje ke spotřebitelům.

Zmenšený špatný vliv na okolí a pokrok v technologii působily na to, že se zemní plyn stal nejdůležitějším palivem. Během minulých 10 let výroba zemního plynu stále rostla. Trendy ukazují, že zvětšení výroby bude pokračovat i v dalších letech, protože se preferují paliva s menším množstvím uhlíku. Na obrázku 2 můžeme vidět zásoby a těžbu zemního plynu ve světě. Většina zemního plynu využívaná v ČR je z dovozu, vlastní těžba tvoří pouze asi 1 % tuzemské spotřeby. Celková roční spotřeba zemního plynu se v ČR pohybuje na úrovni okolo 10 mld. m³. [5,7]

2.6.3 Uhlí

Uhlí vzniklo z dávných rostlin. Před 300 miliony lety usazováním rostlin v močálech. Milion let se usazovalo bláto přes tyto pozůstatky, které pak tvořily velkou teplotu a tlak a to jsou ideální podmínky pro vznik uhlí. Dnes se uhlí většinou nachází pod vrstvy skály a hlíny. Aby se k němu přišlo prorážejí se důlně. Dvě nejdůležitější spotřeby uhlí jsou výroba ocele a elektrické energie. Uhlí dává kolem 23% celkové primární energie ve světě. 38% elektrické energie je dostávána z uhlí.

Uhlí se získává jeho těžbou. Těží se buď to z hlubinných nebo povrchových dolů. U povrchových dolů musí být nejdříve odtěžena zemina, která uhelnou sloj přikrývá. Poté se uhlí dostává rýpadlem a odtud putuje po pásové dopravě přímo k místním elektrárnám nebo po jeho úpravě je naloženo do vagónů a přepravováno po železnici. Při těžbě uhlí se musí brát ohled na krajinu, aby nedocházelo k znečišťování vod a ovzduší zvýšenou prašností. Musí se také tlumit hluk důlních strojů a zařízení, aby nedocházelo k narušování okolí. Z ekologického aspektu je uhlí nejnebezpečnější zdroj energie. Uhlí se, jako i všechny ostatní fosilní zdroje energie, z největší části skládá z uhlíku a vodíku. Uvnitř uhlí jsou i jiné nečistoty, jako například, síra a dusík. Když se uhlí spaluje tyto nečistoty se propouštějí do atmosféry. V atmosféře se částice spojují s párou a formují kapky, které padají na zem jako slabé sírové a dusičné kyseliny, nazýváme je kyselými dešti. Uvnitř uhlí jsou ještě i drobné částky minerálů. Tyto částičky nehoří a tvoří popel, který zůstává po spalování. Jedná část těchto částic je zachycená do víru plynů a spolu s párou vytváří kouř který pochází z elektráren na uhlí. Uhlí je z největší části skládané z uhlíku. Když uhlí hoří, uhlík se míchá s kyslíkem ze vzduchu a formuje se na oxid uhličitý. Oxid uhličitý je plyn bez barvy a vůně, a v atmosféře je jeden ze skleníkových plynů. Většina vědců věří že je globální zvyšování teploty způsobeno právě propouštěním oxidu uhličitého do atmosféry.

Podle všeho toho se zdá, že je uhlí velmi špinavý zdroj energie. V posledních 20 letech vědci pochopili jak zastavit velký počet nečistot dříve než uprchnou do atmosféry. Dnes existují technologie které mohou vyčistit 99% drobných částic a odstranit 95% nečistot které způsobují kyselou dešť. Také existují technologie které zmenšují emisi oxidu uhličitého do atmosféry úspěšnějším spalováním uhlí. Většinu těchto technologií financovaly vlády Spojených Států Amerických a Kanady kvůli velkým problémům s kyselými dešti.

Největší část světových zásob uhlí je v Severní Americe, v Evropě, v Rusku a v Číně, jak je vidět z obrázku 3. Velké zásoby jsou i v Austrálii. Asi 75 % zásob tvoří uhlí černé. Zásob uhlí je ze všech fosilních paliv nejvíce a počítá se s ním jako s důležitým zdrojem energie i v tomto století. Česká republika je na primární energetické zdroje poměrně chudá. V uplynulých desetiletích byl díky uplatňování intenzivního energetického hospodářství podstatný podíl uhlí vyčerpán. Další těžba hnědého uhlí v perspektivě desítek let narazí na ekologické limity. Přesto jsme v zásobách uhlí dosud soběstační. Statistika na přelomu tisíciletí hovoří o zásobě téměř 3,7 miliard tun hnědého a více než 2,3 miliard tun černého uhlí. Mezi nejvýznamnější uhelné revíry patří Ostravsko-karvinský revír (roční těžba okolo 14 milionů tun černého uhlí), Severočeský hnědouhelný revír (roční těžba okolo 38 milionů tun hnědého uhlí a lignitu) a Sokolovský hnědouhelný revír (roční těžba okolo 7 milionů tun hnědého uhlí a lignitu). Po roce 1989 nastal v důsledku poklesu poptávky útlum těžby uhlí. Podíl na tom má i ekologizace našich elektráren, v nichž byly trvale odstaveny některé zastaralé neodsířené bloky. Nově zvýšenou poptávku pokrývá výhodný dovoz uhlí z Polska. Současná úroveň těžby se v ČR pohybuje okolo 60 milionů tun uhlí ročně. [5, 7]

2.6.4 Jaderné palivo

Základní palivem jaderných elektráren je uran. Vyskytuje se v přírodě a je těžen obvyklými těžebními postupy. Pak je zpracováván do stavu vhodného pro využití jako palivo v jaderném reaktoru. Přírodní uran obsahuje dva hlavní izotopy, U^{235} a U^{238} . Štěpitelná jsou pouze jádra atomů U^{235} , to znamená, že tato jádra jsou schopna se účinněji štěpit při energii tepelných neutronů, ale U^{235} tvoří pouze asi 0,7% přírodního uranu. Některé reaktory používají jako paliva přírodní uran, ale většina reaktorů používá mírně obohacený uran, ve kterém je podíl atomů U^{235} zvýšen. Většina uranu je tedy po zpracování před použitím pro výrobu paliva v jaderných elektrárnách obohacena.

V reaktoru je palivo ozařováno a nastává štěpení jader. Atomy U^{235} se štěpí a tvoří lehčí prvky, známé jako štěpné produkty, z nichž některé jsou velmi radioaktivní. Některé z atomů U^{238} jsou transformovány na těžší prvky, které jsou rovněž radioaktivní. Nejdůležitější z nich je Pu^{239} , izotop plutonia, který je podobně jako U^{235} štěpitelný a je tedy potenciálním palivem. Část atomů plutonia je v reaktoru štěpena a uvolňuje energii. Při používání uranu jako paliva v jaderném reaktoru vzniká až jedna třetina uvolněné energie štěpením plutonia.

Po několika měsících nebo i letech je vyhořelé palivo z reaktoru vyjmuto, obsahuje nespotřebovaný uran, štěpné produkty, plutonium a jiné těžké prvky. Je radioaktivní a dále uvolňuje teplo v důsledku radioaktivního rozpadu, takže se chladí ve skladovacích bazénech s vodou. Když je vyhořelé palivo dostatečně ochlazen, je možné ho rozpustit a chemicky přepracovat, tak aby byly nevyužitý uran a plutonium extrahovány. Tyto materiály pak lze zpracovat na nové palivové elementy vyrobeny tímto způsobem, obsahují směs uranu a plutonia a hlavním štěpným materiálem v palivu je plutonium.

Palivový cyklus je všeobecně dělen na tři různé typy, podle toho jestli je vyhořelé palivo přepracováno nebo ne. V palivovém cyklu s jedním průchodem není vyhořelé palivo přepracováno, ale je ukládáno do skladovacích bazénů a nakonec uloženo jako odpad. Při recyklování v tepelných reaktorech je vyhořelé palivo přepracováno a uran a plutonium jsou odděleny od štěpných produktů. Pak jsou buď uran a plutonium recyklovány v nových palivových elementech, nebo je recyklován pouze uran a plutonium je uloženo nebo naopak. Při recyklování v rychlých množivých reaktorech je vyhořelé palivo přepracováno podobně jako v předchozím typu palivového cyklu a uran s plutoniem slouží k výrobě nových palivových elementů. Ty jsou pak recyklovány v rychlých množivých reaktorech, ve kterých je střední část aktivní zóny tvořena uranovým nebo plutoniiovým palivem

obklopena množivou zónou ochuzeného uranu, ze kterého byla většina atomů U^{235} odstraněna při obohacování nebo vyhořením v reaktoru. Tento ochuzený uran je tvořen hlavně atomy U^{238} , z nichž jsou některé v průběhu ozařování transformovány na plutonium. Při vhodném provozování mohou rychlé množivé reaktory produkovat více paliva než spotřebují, proto se nazývají množivé reaktory. Recyklování v tepelných i rychlých množivých reaktorech vyžaduje zařízení pro skladování separovaného plutonia do doby, než je ho třeba pro recyklování. Kromě závodů na přepracování a výrobu paliva a zařízení na skladování a ukládání odpadů je třeba rovněž zajistit transport plutonia mezi lokalitami jednotlivých zařízení. Uložení radioaktivních odpadů mající původ ve zpracování vyhořelých jaderných paliv je důležitým činitelem. To zda, je vyhořelé palivo přepracováno a ukládány jsou zpracované odpady, nebo vyhořelé palivo je skladováno a pak uloženo jako odpad, je v každé zemi určeno rozhodnutím vlády nebo požadavky zákonů. Některé země skladují vyhořelé jaderné palivo, než bude jasné zda bude toto palivo přepracováno či nikoliv. Jiné země se rozhodly palivo přepracovávat a demonstrovat následující uložení upravených odpadů. V několika zemích bylo rozhodnuto, že před povolením provozování dalších jaderných elektráren je zákonem požadováno demonstrovat, že lze odpady bezpečně uložit.

Velkou výhodou uranu před fosilními palivy je velmi vysoká energetická hustota jaderného paliva a tedy mnohem menší množství materiálu, které je potřeba na výrobu téhož množství energie. Lehkovodní reaktory spotřebují asi 220 tun přírodního uranu na 1Gw*rok vyrobené elektrické energie. Těžkovodní reaktory mají palivo z přírodního uranu a vyžadují velkou vsázku paliva, ale spotřebují asi 190 tun uranu na 1Gw*rok elektrické energie. Přepracováním vyhořelého paliva a recyklováním získaných štěpných materiálů může snížit spotřebu zásob uranu u obou typů reaktorů asi dvakrát.

Uranová ruda je těžena jak v povrchových, tak v hlubinných dolech. V určitých podmínkách lze uran extrahovat loužením na místě. Použitá metoda těžby je volena na základě charakteristiky ložiska rudy z hlediska těžby. A to je velikost ložiska, jakost rudy, hloubka a stav podkladu. Velikost uranových dolů se pohybuje v širokém rozmezí. Např. od méně než 50 tun vytěžené rudy za den až do 40 000 tun rudy za den ve velkém povrchovém dole. Hloubky povrchových dolů mohou být až 150m. Těžba uranu se podobá jiným důlním činnostem podobného rozsahu s výjimkou toho, že požadavky radiační ochrany někdy vytváří další omezení. Po vytěžení uranové rudy je další částí palivového cyklu chemická extrakce uranu z rudy, aby byl získán koncentrát s obsahem uranu alespoň 65%. Technologie úpravy uranové rudy je založena hlavně na loužení, extrakce rozpouštědlem a srážení, protože fyzikální úprava není pro většinu uranových rud vhodná. Každá úpravna je konstruována tak, aby přesně odpovídala specifickým charakteristikám zpracovávané rudy. Celkový proces zpracování je však pro většinu rud podobný procesu loužení v kyselině. Základními operacemi jsou drcení a mletí rudy do konzistence jemného písku, loužení pískové kaše, separace tuhé kapalně složky a propírání, extrakce rozpouštědly nebo výměna iontů, srážení a sušení.

Ve většině tepelných reaktorů jsou palivové produkty tvořeny keramickým kyslíčnickem uranickým ve formě tablet. Tablety se vkládají do trubek ze slitiny zirkonia nebo nerezavějící oceli. Trubky jsou pak hermeticky uzavřeny a tvoří palivový proutek. Hotové proutky jsou pak montovány do skupin, tvořících palivové kazety. Typická palivová kazeta pro tlakovodní reaktor s výkonem 1GW_e je asi 4m dlouhá a obsahuje asi 264 palivových proutků ve čtvercové nebo šestiúhelníkové mříži. Při plné vsázce aktivní zóna reaktoru obsahuje asi 157 palivových souborů s celkem 51 500 palivovými proutky, které obsahují asi 11milionů kyslíčnickových tablet s celkem 72,5 tunami uranu. V průběhu provozu je asi jedna třetina palivových souborů v aktivní zóně reaktoru jednou za rok vyměněna. Plutoniová paliva pro recyklování v tepelných reaktorech a pro rychlé reaktory jsou vyráběna ze směsí práškových kyslíčnicků plutonia a uranu. Směs kyslíčnicků je pak formována do tablet a uzavírána do povlaků stejně, jako je tomu u uranového paliva.

Poté, co se v palivu nahromadí štěpné produkty natolik, že se palivo stane čistým absorberem neutronů, je nutno palivo z reaktoru vyjmout. K tomu dochází v lehkovodních reaktorech po období tří až pěti let. Vyhořením paliva nemusí docházet k jeho vizuálním změnám, ale palivo je vysoce radioaktivní a dále produkuje teplo radioaktivním rozpadem. Musí být tedy stíněno a chlazeno a jeho další zpracování musí být velmi pečlivě plánováno. Pro hospodaření s vyhořelým palivem existuje několik možností. Vyhořelé palivo chladíme v nádrži s vodou až 5 let, poté se vyhořelé palivo ukládá do meziskladu až na 40 let. Po této době se upraví a zapouzdří do skla nebo do olova a ukládá se do hlubinných dolů. Náklady na uložení tvoří až 10% z výroby elektrické energie. Vyhořelé palivo, ale můžeme přepracovávat s cílem získání nového štěpitelného materiálu. Je taky možné převést palivo a s tím spojená práva na jinou zemi, která se pak musí rozhodnout zda své palivo přepracuje nebo uloží do meziskladu nebo hlubinného dolu. Radioaktivní odpady a výpustě vznikají při provozu téměř všech zařízení jaderného palivového cyklu. Jejich složení, objem a úroveň radioaktivity jsou značně proměnné a i poločasy rozpadu v nich obsažených radionuklidů se rovněž velmi mění. [3]

3 Stávající využití ve světě a v české republice

3.1 Stávající využití v ČR

Výrobu elektřiny v České republice zajišťuje především akciová společnost ČEZ z 70% a dalších více než 100 nezávislých výrobců. Kromě tepelných elektráren na fosilní paliva pracují na území ČR JE Temelín, JE Dukovany, vodní elektrárny, větrné elektrárny, solární elektrárny i elektrárny spalující biomasu. Celková roční výroba v ČR přesahuje 80 TWh elektrické energie. Konkrétní roční výroba tepelných a jaderných elektráren je uvedena v tabulce 1 a 2. Uhlé elektrárny představují asi 70 % instalovaného výkonu české elektroenergetiky. Většina z nich je situována do bezprostřední blízkosti hnědouhelných dolů v severních a v severozápadních Čechách. Největší výrobce elektrické energie v ČR, energetická společnost ČEZ, v současné době provozuje 15 uhelných elektráren o celkovém instalovaném výkonu více než 6 500 MW. Využití českých uhelných elektráren v příštích letech umožní jak očekávaný růst poptávky po elektřině v České republice a příznivý vývoj české ekonomiky, tak dobrá pozice Skupiny ČEZ na evropském trhu s elektrickou energií. V prvním pololetí roku 2007, byl úspěšně zahájen projekt obnovy zdrojů ve třech uhelných elektrárnách. Celkový plán však zahrnuje během zhruba šesti let obnovu až deseti stávajících a výstavbu až tří nových hnědouhelných bloků.

Všechny elektrárny Skupiny ČEZ jsou provozovány v souladu s pravidly ochrany životního prostředí. Technologie a parametry pro snížení emisí látek znečišťujících ovzduší, které se používají v ČR, odpovídají úrovni nejlepších dostupných technik doporučovaných Evropskou unií a umožňují plnit požadavky nových právních předpisů pro ochranu ovzduší. V okolí uhelných elektráren došlo k řadě technických a biologických rekultivací, které mají odstranit následky ukládání zbytku nevyužitých vedlejších energetických produktů a oživit krajinu. Součástí ochrany ovzduší je zjišťování jeho kvality v měřicích imisních stanicích. Ty jsou umístěny tak, aby bylo na základě měření možné objektivně posoudit vliv provozu uhelných elektráren na stav ovzduší. Stanice jsou vybaveny moderním zařízením zejména pro měření imisí oxidu siřičitého a oxidů dusíku. Naměřené hodnoty přejímá Imisní informační systém kvality ovzduší České Republiky. Ve všech uhelných

elektrárnách probíhá od roku 2005 obnova techniky měření emisí a bylo zahájeno soustavné měření emisí CO₂.

Největší událostí v novodobé historii české uhelné elektroenergetiky se stalo uvedení všech uhelných energetických zdrojů do takového technického stavu, který vyloučuje další devastaci životního prostředí. V letech 1992–1998 elektrárenská společnost ČEZ realizovala patrně nejrozsáhlejší a nejrychlejší ekologický a rozvojový program v Evropě. V rámci tohoto programu v hodnotě 46 miliard korun přímých investic a přibližně 65 miliard investic souvisejících, bylo v uhelných elektrárnách společnosti instalováno celkem 28 odsiřovacích jednotek a 7 fluidních kotlů, došlo k rekonstrukci odlučovačů popílku a modernizaci řídicích systémů elektráren. Celkově bylo odsířeno 6 462 MW instalovaného výkonu. Z této hodnoty připadá 5 930 MW na odsíření pomocí tzv. vypírky kouřových plynů (5 710 MW mokrá vápencová vypírka, 220 MW polosuchá vápenná metoda), 497 MW je odsířeno pomocí náhrady starých kotlů moderními s fluidním spalováním, u 35 MW byla provedena změna paliva. Zároveň s postupem prací na vyčištění modernějších uhelných zdrojů se rozeběhl i útlumový program nejstarších zařízení. Před zahájením modernizačního a odsiřovacího programu uhelných elektráren ČEZ, byl jejich celkový instalovaný výkon uhelných elektráren 8 482 MW, odstaveno bylo 2 020 MW instalovaného výkonu ve starších uhelných elektrárnách. Díky uskutečnění programu odsíření se podařilo oproti úrovni na počátku 90. let snížit emise SO₂ o 92 %, pevných částic popílku o 95 %, emise oxidů dusíku o 50 % a oxidu uhelnatého o 77 %. Téměř 90 % vedlejších energetických produktů z procesu odsíření již nepatří do kategorie odpadů, ale lze je dále využít.

V současné době běží program obnovy uhelných zdrojů Skupiny ČEZ, kde jsou především důvody ekologicko-ekonomické související se zvýšením účinnosti nejen kotle, ale především celého bloku a tím zprostředkovaně s likvidací hlavního skleníkového plynu, kysličníku uhličitého CO₂. Navíc už od roku 2010 musíme počítat s postupným dožíváním odsířených uhelných elektráren, neboť jejich technologie má životnost okolo patnácti let a dlouhodobě nevyhoví požadavkům na životní prostředí a ekonomiku.

Obnova zdrojů je kombinací výměny zastaralé technologie za moderní, výstavby nových tepelných hnědouhelných elektráren a řízeného definitivního ukončení provozu některých technicky a morálně zastaralých bloků. V rámci Evropské unie jde o jedinečný projekt, kdy během relativně krátké doby dojde k úpravě a výměně technologií řady uhelných elektráren Skupiny ČEZ. Nikde v zemích Evropské unie nebyl dosud zaznamenán projekt přispívající ke snížení emisí škodlivých látek z výroby elektrické energie v takovém rozsahu. Jeho uskutečnění představuje celkovou investici zhruba 100 miliard korun. Rozsah realizace celého programu je dán dostupnými zásobami hnědého uhlí. Při zásadní modernizaci a instalaci nových technologií lze počítat s dobou provozu elektrárny na dalších 25 let, při výstavbě nových moderních bloků s výhledem jejich provozu na dalších 40 až 50 let.

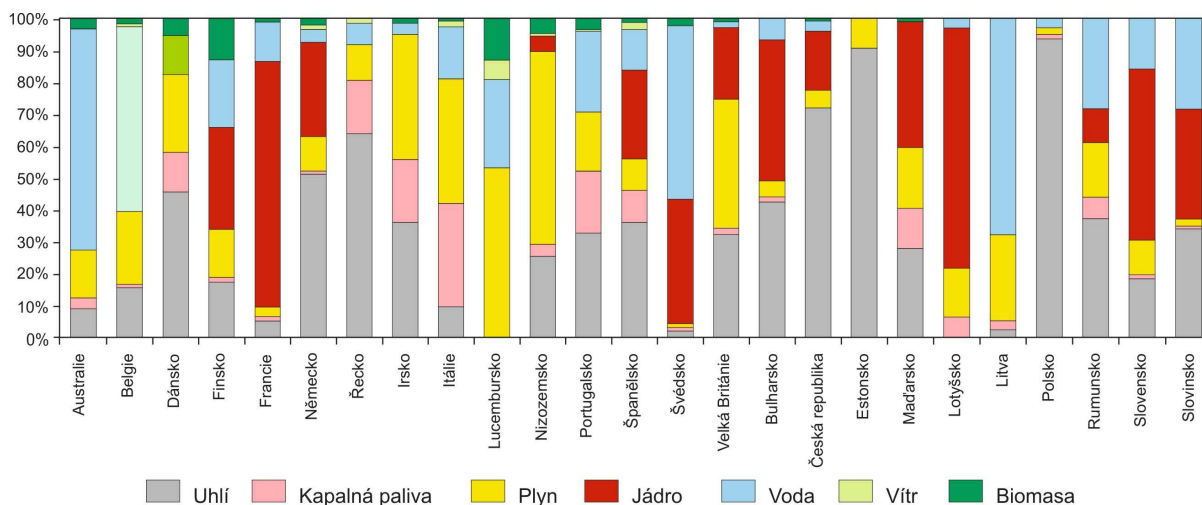
Z důvodu nedostatku paliva v lokalitě nebo neefektivity udržování úrovně ekologických parametrů bude ukončen provoz 14 bloků. Kromě Elektrárny Tušimice I, odstavené již v roce 1998, hodlá ČEZ na přelomu let 2015 a 2016 zcela ukončit provoz Elektrárny Pruněřov I. Tato elektrárna by po roce 2015 bez zásadní rekonstrukce nevyhověla zpřísněným ekologickým parametrům podle nové legislativy. Navíc by pro ni na Dole Libouš, na potřebnou dobu provozu, nebyl dostatek uhlí. Dalším zařízením, které definitivně mezi léty 2015 a 2020 zastaví provoz také především z důvodu nedostatku uhlí, je Elektrárna Mělník III. Podobně je na tom i Elektrárna Chvaletice, jejíž životnost je plánována jen do roku 2020. I při neoptimističtější variantě dalšího vývoje ztratí pravděpodobně uhelné elektrárny v závislosti na dostupnosti českého hnědého uhlí v období 2035–2050 postupně svůj dominantní význam.

V budoucnu budou mít zásadní vliv na výrobu elektrické energie jaderné elektrárny. V celosvětovém měřítku zatím neexistuje lepší energetický zdroj, který by současně pokryl rostoucí nároky na energii a přitom nepřispíval ke zhoršování životního prostředí. U nás jsou v provozu dvě jaderné elektrárny a to JE Temelín a JE Dukovany.

Jaderná elektrárna Temelín vyrábí elektřinu ve dvou výrobních blocích s tlakovodními reaktory VVER 1000 typu V 320. Od jara 2003 je temelínská elektrárna s instalovaným elektrickým výkonem 2000 MW největším energetickým zdrojem České republiky. Technologie elektrárny odpovídá moderním světovým parametrům. Od konstrukce kontejnmentu až po optimalizaci využití paliva. Důležitou součástí zajištění bezpečného provozu je vysoká profesionální úroveň personálu. Pro jejich přípravu byl v areálu Jaderné elektrárny Temelín vybudován plno-rozsahový simulátor. Jde vlastně o kopii blokové dozorny, z které normálně operativní personál řídí skutečný blok. Na simulátoru ale řídí vše instruktor s pomocí počítače. Lze tak cvičit provozní, ale i případné havarijní stavy. Významné úspory se očekávají od akce s názvem Transfer technologie firmy Westinghouse, v oblasti projektování změn systému kontroly a řízení. Na další rozvoj jsou zaměřeny i významné investice. Mezi dokončené patří zejména: modernizace laboratoře radiační kontroly okolí elektrárny, analýza vlivu tlakově-teplotních změn na nádoby reaktorů nebo změna ovládání nízkotlaké kompresorové stanice umožňující automatický dálkový provoz a modernizace požárního zabezpečovacího zařízení. Provozu Jaderné elektrárny Temelín se nevyhnuly ani některé technické problémy. Na 2. bloku musela být během odstávky pro výměnu paliva provedena úprava rotoru vysokotlakého dílu turbogenerátoru, kterou vyvolala nutnost omezit tepelné a mechanické namáhání lopatek oběžných kol. Problémy se vyskytly i s jaderným palivem. Všechny se však podařilo vyřešit. V Temelíně byla realizována i celá řada dalších investičních akcí, jejichž cílem bylo zvyšovat úroveň jaderné bezpečnosti a spolehlivost výroby elektřiny.

V elektrárně Dukovany jsou ve dvou dvojblocích instalovány celkem čtyři tlakovodní reaktory typu VVER 440 model V 213. Každý z bloků má elektrický výkon 440 MW. Jaderná elektrárna Dukovany je první provozovanou jadernou elektrárnou v České republice a patří mezi největší, vysoce spolehlivé a ekonomicky výhodné energetické zdroje. Roční výroba elektrické energie se pohybuje okolo 13,5 TWh, což představuje asi 20 % z celkové spotřeby elektřiny v České Republice. V porovnání s ostatními významnými výrobci vyrábí elektřinu s nejnižšími měrnými náklady. 24. února 2005 uplynulo 20 let od přifázování první turbíny prvního bloku Jaderné elektrárny Dukovany k síti. Během této doby elektrárna vyrobila 240 292 GWh elektřiny, což je více než například celková výroba elektřiny v České republice v letech 2001 až 2003. Pro výrobu této elektřiny nemuselo být vytěženo přibližně 190 mil. tun hnědého uhlí, které jsme tak ušetřili pro budoucnost, a jehož spálením by bylo emitováno do ovzduší zhruba 240 mil. tun CO₂. Jednotlivé bloky Jaderné elektrárny Dukovany byly uvedeny do provozu v letech 1985 až 1988. Celkový instalovaný elektrický výkon elektrárny je 1760 MW. Dosažitelný výkon elektrárny se přitom díky modernizacím turbín postupně zvyšuje. V roce 2005 dosáhl 1776 MW a v roce 2007 to bude dokonce 1808 MW. Tepelný výkon každého ze čtyř reaktorů je 1375 MW. Snaha o neustálé zvyšování spolehlivosti a bezpečnosti se projevila v řadě investičních akcí. V období 1988-1993 šlo o akce projektu Dokompletace, v letech 1994-1996 se rozeběhl rozsáhlý program obnovy zařízení nazývaný Morava. K významným investičním akcím poslední doby se řadí nejrozsáhlejší akce na technologickém zařízení uskutečněné ve dvacátém roce provozu, kdy byly vyměněny rotory nízkotlakých dílů turbín a uskutečnila se komplexní modernizace systému kontroly a řízení na třetím bloku. Modernizace nízkotlakých dílů turbín zvýšila účinnost turbín o 3,46 % a dosažitelný výkon se tak zvýšil o 2 x 8 MW. Ročně tato modernizace přináší zvýšení výroby zhruba o 127 000 MWh. V roce 1997 se začalo pracovat na záměně systémů měření a regulace. [6, 8]

3.2 Stávající využití ve světě



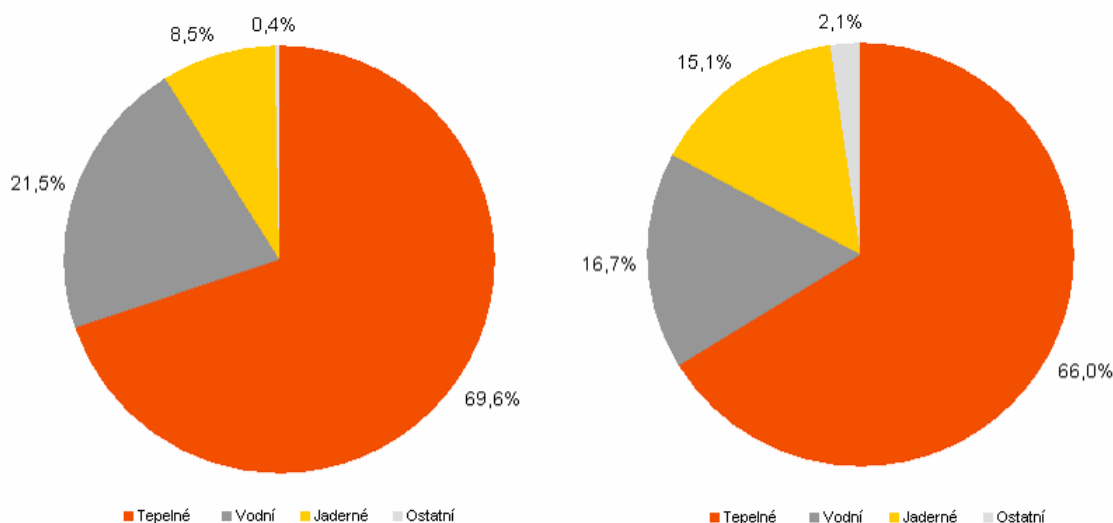
Graf 1 Struktura energetických zdrojů v některých zemích [4]

Protože spotřeba elektřiny ve světě stoupá což je vidět z grafu č.2 viz. příloha, a v situaci kdy jsou dodávky nafty a plynu pro budoucnost nejisté a jejich ceny rostou, nabízí se uhlí jako poměrně levná a zajímavá alternativa jak pro rozvojové tak i rozvinuté ekonomiky. Nové technologie pro těžbu uhlí čistějším způsobem a nové technologie pro snižování emisí a zvyšování účinnosti uhelných elektráren, vede ke snižování znečišťování životního prostředí, což je důvod k výstavbě dalších tepelných elektráren. V současnosti se uhlí podílí na výrobě elektřiny ve světě ze 40% a celkem až dvě třetiny vytěženého uhlí se používá pro tento účel. Předpokládá se že v tomto století bude výroba z fosilních paliv pokračovat zejména ve Spojených státech amerických, Číně a Indii, protože tyto země mají vlastní bohaté naleziště uhlí.

Ve Spojených státech amerických je od roku 2003 plán vybudovat novou generaci uhelné elektrárny, která se nazývá FutureGen. Projekt je výjimečný tím že, elektrárna by ihned zachycovala produkovaný oxid uhličitý a ukládala jej pod zem. O pět let později, nejspíš v důsledku ekonomické krize odhlásilo americké ministerstvo energetiky restrukturalizaci celého projektu vzhledem k narůstajícím nákladům. Barack Obama však přišel se záchranným balíčkem z kterého poputuje jedna miliarda právě na projekt FutureGen. Pokud bude uhelná elektrárna nové generace dokončena, nabídne výkon 275MW. Tato elektrárna může přispět ke snižování oxidu uhličitého v atmosféře.

V Německu se už rozbíhá průkopnický projekt uhelné elektrárny, která pohlcuje oxid uhličitý. Za její stavbou stojí švédská společnost Vattenfall. Narozdíl od klasických uhelných elektáren ta její nevypouští do ovzduší oxid uhličitý, ten je naopak oddělen během spalování uhlí a je transportován pod zem. Tam je ukládán v již vytěžených nalezištích zemního plynu. Tento projekt představuje pro odborníky spoustu nových poznatků o tom, co se vlastně bude pod zemí dít a jaké budou interakce plynu s geosférou i biosférou. Samotný proces oddělování CO₂ je ale velice zajímavý a plyn se při něm zkapalňuje a následně transportuje 600 metrů pod zem. Současná elektrárna je víceméně testovací, její výkon je pouze 30 MW a vybudování stálo 70 miliónů euro. Švédská společnost Vattenfall se nicméně chystá spustit další dvě podobné elektrárny v Dánsku a Německu, které budou mít výkon kolem 300 MW. Plné nasazení technologie ukládání oxidu uhličitého pod zemi se však očekává teprve někdy mezi lety 2015 a 2020.

V roce 2006 bylo v 30 státech světa v provozu 441 jaderných reaktorů s celkovou instalovanou kapacitou blížící se 370 000 GW. Celosvětově tyto reaktory vyrábějí asi 16 % světové elektřiny, podíl výroby elektřiny z jádra, který se neustále zvyšuje je vidět na grafu 3.



Graf 3 Podíl elektráren světové výroby elektřiny v roce 1980 a v současnosti [6]

Nejvíce jaderných zdrojů je provozováno v USA, ve Francii, Japonsku, Velké Británii a Rusku. Jaderná energetika hraje velmi významnou roli i v zemích EU. Z jaderných elektráren zde pochází přibližně 33 % veškeré vyrobené elektřiny. Z grafu 4 v příloze je vidět procentní podíl výroby elektřiny z jádra v daných státech. Většinou se používají tlakovodní reaktory PWR, co do četnosti jsou na druhém místě reaktory varné BWR. Následují reaktory těžkovodní, grafitové, plynem chlazené, rychlé popř. další typy. V roce 2006 bylo ve světě ve výstavbě 24 nových jaderných elektráren, především v Číně, Indii, Jižní Koreji a Japonsku. V Evropě jde o finskou jadernou elektrárnu Olkiluto 3, jenž je elektrárnou nové generace typu EPR. Ve Francii je připravována výstavba obdobného jaderného bloku s výkonem 1600 MW ve Flamanville. Výroba typu reaktoru EPR se má v západní Evropě rozběhnout do roku 2020. V USA jsou licencovány nové typy reaktorů a vydána předběžná povolení se stavbou nových jaderných elektráren pro asi 8 lokalit. Za posledních 15 let se výroba v jaderných elektrárnách na celém světě zvýšila o více než 700 milionů kilowatthodin ročně. Důvodem je výroba v nových zdrojích, rekonstrukce stávajících zdrojů, zvýšení výkonu a snižování poruchovosti. Novými metodami oprav, kontrol zařízení a lepší organizací práce se zkrátil čas potřebný pro výměny paliva. Dnešní jaderné elektrárny dosahují průměrné hodnoty využití celosvětově okolo 84 %. Ve vyjádření z hlediska hodin provozu ročně vykazují jaderné elektrárny 8 000 hodin za rok, zatímco uhelné i plynové pouze 7 000. [6, 14, 15]

4 Současná legislativa

4.1 Energetický zákon

V české republice podle energetického zákona §23 č.458/2000 sb. má výrobce elektrické energie právo připojit svá zařízení k elektrizační soustavě, pokud je držitelem licence na výrobu elektřiny a splňuje podmínky připojení k přenosové soustavě nebo k distribučním soustavám stanovené prováděcím právním předpisem, a obchodní podmínky stanovené Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování příslušné distribuční soustavy. Dále nabízet elektřinu vyrobenou ve vlastní výrobě elektřiny na krátkodobém trhu s elektřinou s organizovaným operátorem trhu. Výrobce má právo dodávat elektřinu prostřednictvím přenosové soustavy nebo distribuční soustavy v případě, že má uzavřenou smlouvu o dodávce elektřiny a smlouvu o přenosu elektřiny nebo distribuci elektřiny, dále jde-li o dodávku elektřiny organizovanou operátorem trhu na krátkodobém trhu s elektřinou nebo je požádán provozovatelem přenosové soustavy nebo příslušným provozovatelem distribuční soustavy o dodávku elektřiny. Dodávat elektřinu vyrobenou ve vlastní výrobě elektřiny pro vlastní potřebu a pro potřebu ovládaných společností, pokud mu to podmínky provozování přenosové soustavy a distribučních soustav umožňují. Výrobce má dále právo nabízet a poskytovat podpůrné služby k zajištění provozu elektrizační soustavy za podmínek stanovených Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování příslušné distribuční soustavy.

Výrobce je povinen na své vlastní náklady zajistit připojení svého zařízení k přenosové soustavě nebo k distribuční soustavě, umožnit a uhradit instalaci měřicího zařízení provozovateli přenosové soustavy nebo provozovateli příslušné distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena. Druhy měřících zařízení, způsob jejich instalace, umístění a další podrobnosti měření obsahují Pravidla provozování přenosové soustavy nebo Pravidla provozování příslušné distribuční soustavy. Dále je povinen zpřístupnit měřící zařízení provozovateli přenosové soustavy nebo provozovateli příslušné distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena a instalovat u nově budovaných výroben o celkovém instalovaném elektrickém výkonu 30MW a více a provozovat zařízení pro poskytování podpůrných služeb. Podrobnosti o druhu instalovaného zařízení pro poskytování podpůrných služeb obsahují pravidla provozování přenosové soustavy nebo pravidla provozování příslušné distribuční soustavy. Podrobnosti o způsobu využívání zařízení pro poskytování podpůrných služeb stanoví dispečerský řád elektrizační soustavy, který stanoví prováděcí právní předpis. Výrobce je povinný řídit se pokyny technického dispečinku provozovatele přenosové soustavy nebo provozovatele příslušné distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena, a to v souladu s dispečerským řádem. Dále je povinen předávat operátorovi trhu technické údaje vyplývající ze smluv o dodávce elektřiny a poskytovat provozovateli přenosové soustavy nebo provozovateli příslušné distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena, potřebné údaje pro provoz a rozvoj přenosové soustavy nebo distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena, potřebné údaje pro provoz a rozvoj přenosové soustavy v souladu s dispečerským řádem a Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování příslušné distribuční soustavy. Výrobce je povinný dodržovat parametry kvality dodávané elektřiny stanovené Pravidly provozování přenosové soustavy nebo pravidly provozování distribuční soustavy, podílet se na úhradě oprávněných nákladů provozovatele přenosové soustavy nebo příslušného provozovatele distribuční soustavy spojených s připojením výrobní elektřiny. Podrobnosti výpočtu výše podílu na oprávněných nákladech stanoví prováděcí právní předpis. Dále je výrobce povinný uhradit provozovateli přenosové

soustavy nebo provozovateli distribuční soustavy podle pravidel trhu s elektřinou systémové služby odpovídající objemu elektřiny vyrobené ve vlastní výrobě a spotřebované konečným zákazníkům bez použití energetického zařízení jiného držitele licence. Dále je povinen informovat účastníky trhu s elektřinou způsobem umožňujícím dálkový přístup o podílu zdrojů elektřiny použitých pro výrobu elektřiny v uplynulém roce a o množství emisí CO₂ a o množství radioaktivního odpadu vyprodukovaného při výrobě elektřiny v uplynulém roce. Výrobce je povinen za účelem zajištění bezpečnosti a spolehlivosti provozu elektrizační soustavy, pro případy předcházení a řešení stavu nouze za podmínek stanovených pravidly provozování příslušné distribuční soustavy, na pokyn provozovatele přenosové soustavy nebo provozovatele distribuční soustavy nabízet provozně a obchodně nevyužité kapacity a řídit se pokyny technického dispečinku provozovatele přenosové soustavy nebo provozovatele distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřina připojena, při činnostech bezprostředně zamezující stavu nouze, při stavech nouze a při likvidaci následků stavu nouze. Výrobce je povinen zaregistrovat se do 30 dnů od udělení licence na výrobu elektřiny u operátora trhu s elektřinou. Zaregistrováním se výrobce stává registrovaným účastníkem trhu s elektřinou. [11]

4.2 Podmínky připojení k elektrizační soustavě

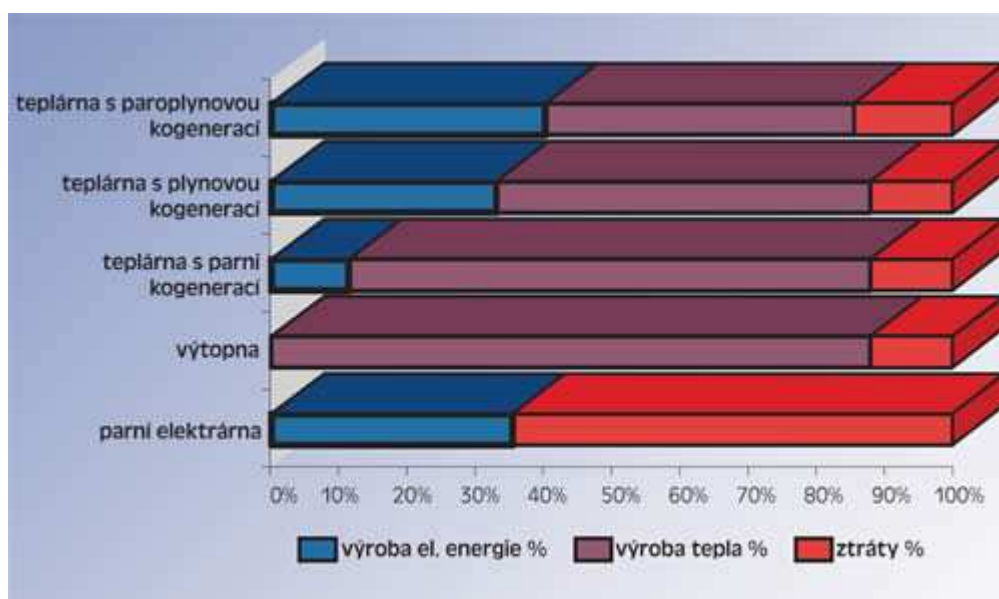
Podle §3 vyhlášky 51/2006 podmínkami pro připojení zařízení žadatele k přenosové nebo distribuční soustavě jsou následující. Podání žádosti o připojení, souhlasné stanovisko provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy k žádosti o připojení, vydané postupem podle §5 a uzavření smlouvy o připojení mezi žadatelem a provozovatelem přenosové nebo distribuční soustavy nebo změna stávající smlouvy o připojení. Pokud nedochází ke změně technických podmínek připojení, při změně konečného zákazníka ve stávajícím odběrném místě, pokud proběhla ve lhůtě do 12 měsíců, nebo nahrazení nebo úpravy stávajícího zařízení výrobní elektřiny kdy nedochází k překročení existující technické kapacity vyvedení výkonu do přenosové distribuční soustavy při zachování standardních podmínek přenosu nebo distribuce elektřiny, podává žadatel pouze žádost o uzavření smlouvy nebo změnu stávající smlouvy o připojení. Při první změně dodavatele konečného zákazníka podává žadatel žádost o uzavření smlouvy o připojení, pokud taková smlouva není již uzavřena. [11]

5 Možnosti, trendy a předpoklady pro rozšíření tradičních zdrojů

5.1 Kogenerace a zplyňování uhlí

Současný trend vývoje tepelných elektráren spalujících fosilní paliva se zaměřuje především na hledání lepších a účinnějších metod spalování. Cestu k lepšímu využití paliva nabízí kogenerační jednotky, což je kombinovaná výroba elektřiny a tepla kogenerace. Vyšší účinnost přeměny a navíc snížení emisí a škodlivin tepelné elektrárny, představuje paroplynová kogenerace. Dosavadní způsob odstraňování síry, dusíkatých zplodin a prachu až na samém konci spalovacího procesu v klasických uhelných elektrárnách nejsou perspektivním řešením. Proto se hledá spalovací proces, který by zvládl využití jakéhokoli druhu uhlí a který by ho spálil bez škodlivých emisí a vyprodukoval využitelné

teplo buď pro plynovou turbínu, nebo pro zařízení ke zvýšení parametrů páry. Nejslibnější technologií je zplyňování uhlí. Jedná se o zplyňovací reaktory a využití horkého plynu v paroplynovém cyklu. Ke zplyňování uhlí dochází pod tlakem obvykle v jeho kontaktu s kyslíkem nebo parou. Vzniká plyn s velkým obsahem oxidu uhelnatého a vodíku. Z mnoha variant se v současné době realizují tři základní technologie, což jsou zplyňování v sesuvném loži, fluidní zplyňování a hořákové zplyňování. Přeměna uhlí na horký spalitelný plyn neutralizuje škodlivé emise už se stupni spalování a vyčistí produkt tak, aby mohl být spálen v elektrárně s plynovou turbínou a kombinovaným cyklem, aniž by znečistil ovzduší. [7]



Obrázek 4 Účinnost elektráren s kogenerací [17]

5.2 Integrace tlakového zplyňování a paroplynového cyklu IGCC

Význam technologie IGCC na světovém energetickém trhu, kde se dává přednost levnějším zdrojům jako je uhlí, těžké oleje a drobný koks, je stále větší. Technologie IGCC vyrábí elektřinu levně a přitom splňuje přísné předpisy pro životní prostředí. Při procesu IGCC dochází k tomu, že nízkohodnotná paliva jako je uhlí, petrolejový koks, biomasa nebo obecní odpad jsou přeměňovány v plyn s vysokým obsahem vodíku a nízkou výhřevnou hodnotou, a to v procesu zplyňování. Tohoto plynu se pak využívá jakožto prvotního paliva pro plynovou turbínu. Na IGCC lze taky pohlížet jako na dvoufázové spalování příležitostného výchozího materiálu. Nejprve je materiál částečně spálen v reaktoru nebo ve zplynovači, a poté je zplyňování dokončeno v plynové turbíně. Pro každý typ zplynovače a paliva je k dispozici více technických možností. Systémy IGCC lze optimalizovat pro různé typy paliva.

Technologie IGCC se skládá ze 4 procesů. Prvním z nich je zplyňování, při kterém je uhlí částečně okysličen čistým kyslíkem v reaktoru. Uhlí a vodík se přemění ve směs složenou z vodíku a oxidu uhelnatého. Tato směs se nazývá syntetický plyn. Dalším procesem je čištění syntetického plynu. U tohoto procesu se odstraňují sírné sloučeniny, čpavek, kovy, alkalické sloučeniny, popílek a jiné částice, aby byly dodrženy specifikace pro plynovou turbínu. Z těchto odstraněných složek lze vyrábět metanol, čpavek, hnojiva a jiné chemikálie. Při tomto procesu se mnohdy snižuje obsah vodíku a tak se snižuje výhřevnost syntetického plynu. Třetím procesem je kombinovaný cyklus

v plynové turbíně, u kterého dochází ke spalování v plynové turbíně. Posledním procesem je separace kryogenického vzduchu. Jednotka určená pro kryogenickou separaci dodává do zplyňovacího reaktoru čistý kyslík, a její funkce je podporována nasáváním vzduchu z plynové turbíny. Tyto čtyři procesy je nutno integrovat v zájmu toho, aby elektrárna pracovala optimálně.

Pokud jde o rozměry, je elektrárna s IGCC srovnatelná s běžnou uhelnou elektrárnou s kotli, avšak na rozdíl od ní nepotřebuje dodatečný prostor pro čištění odpadu ze spalování a pro odvodňování popílku. Také spotřeba vody v elektrárně s IGCC je přibližně o 30 % nižší než v běžné uhelné elektrárně. Rovněž tak není zapotřebí obstarávat vápenec nebo vápno, jež je zapotřebí v uhelných elektrárnách k odsiřování. Technologii IGCC se produkuje méně než polovina oxidů síry, oxidů dusíku, olova a částic ve srovnání s tradičními elektrárnami pracujícími s práškovým uhlím, a uhlí pro výrobu energie je využito podstatně čistěji. [10]

5.3 Trendy vývoje

U Parní turbíny se zavedením nadkritických parametrů páry, což představuje tlak 22,1 MPa a teplotu 600 °C, zvýší účinnost nad 40 % a vyvíjené monokrystalické slitiny umožní jít až do oblasti ultrakritické páry s teplotou 700 °C, kdy by účinnost mohla špičkově dosáhnout až 50 %.

Přechodem z atmosférického fluidního na tlaková fluidní ohniště v kombinaci s paroplynovým cyklem dává naději zvýšit účinnost cyklu také až na 50 %.

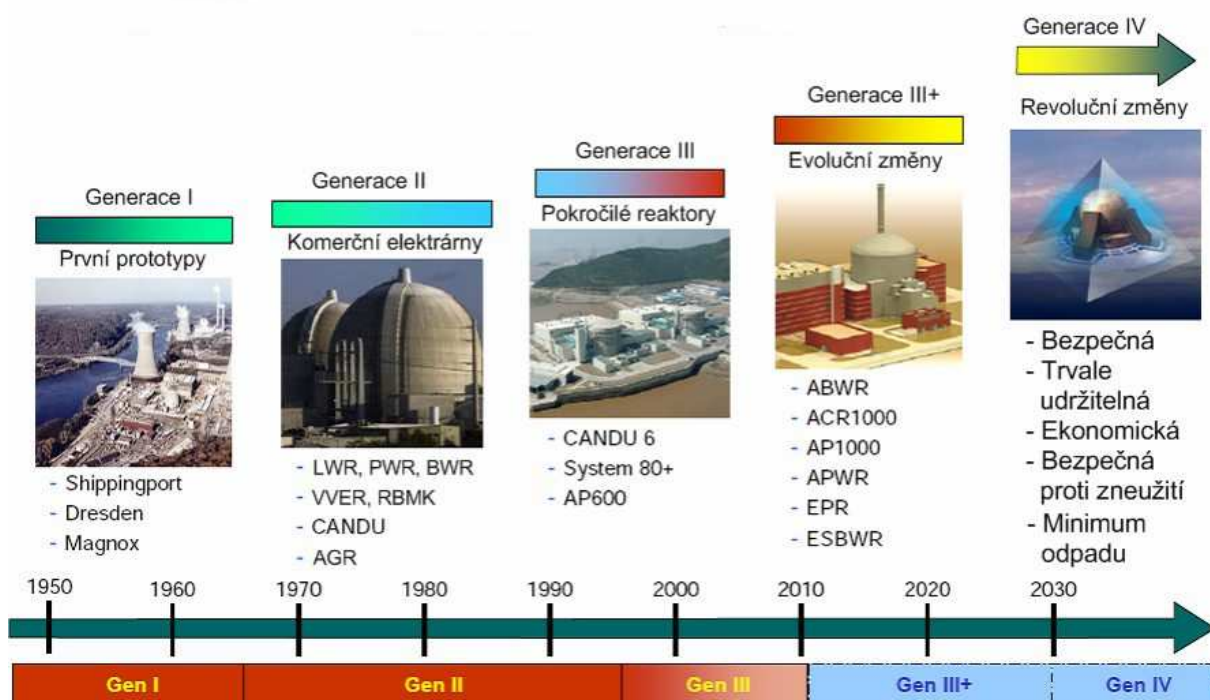
U Plynové turbíny při spalování zemního plynu lze očekávat zvýšení účinnosti až na 47 %, pokud materiál lopatek a chlazení umožní jít na vstupní teplotu 1300 °C. Všechny tyto komponenty v integrovaném zplyňovacím cyklu zvýší účinnost na 50 %.

Vynikající účinnost by mohly mít elektrárny vybavené již čtyřicet let vyvíjenými magnetohydrodynamickými generátory. Intenzivně hořící uhelný prach nebo plyn doplněný ionizačními přísadami při průchodu magnetickým polem rozdělí svoje částice podle náboje. Z elektrod uložených kolmo na směr proudu a magnetického pole lze pak odebírat stejnosměrný elektrický proud. Využitím tepla spalin v nadkritickém parním cyklu by pak bylo možné dosáhnout celkové účinnosti až 60 %. [7]

5.4 Nová generace jaderných reaktorů

Nová generace jaderných reaktorů je založena na zdokonalení existujících typů a využívá ověřené konstrukční prvky a dostupná technologická vylepšení. Třetí generace jaderných reaktorů se vyznačuje zvýšenou bezpečností a spolehlivostí zařízení. K důležitým parametrům III. generace jaderných reaktorů patří nižší investiční náklady, kratší doba výstavby, delší životnost, méně radioaktivního odpadu a celkově vyšší efektivnost provozu. Do III. generace jaderných reaktorů můžeme zařadit například projekt EPR (AREVA-Framatom ANP), který se v současnosti staví ve Finsku. Dále patří do této generace i americký projekt AP 600 (BNFL-Westinghouse) nebo varné reaktory SWR 1000 (AREVA-Framatom ANP) a ABWR, které v současné době běží v Japonsku. Reaktory typu VVER, které se používají u nás mají také své nástupce III. generace. Jsou to projekty VVER-1000 nebo VVER 640. Všechny tyto projekty se vyznačují zjednodušenou konstrukcí v porovnání se svými předchůdci. Některé jsou konstruovány jen jako dvousmyčkové namísto dnešních čtyřsmyčkových. Důsledkem toho mají tyto bloky méně potrubí, méně ventilů a čerpadel a méně kabeláže, což vede ke zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti. Nejhlavnějším parametrem je však

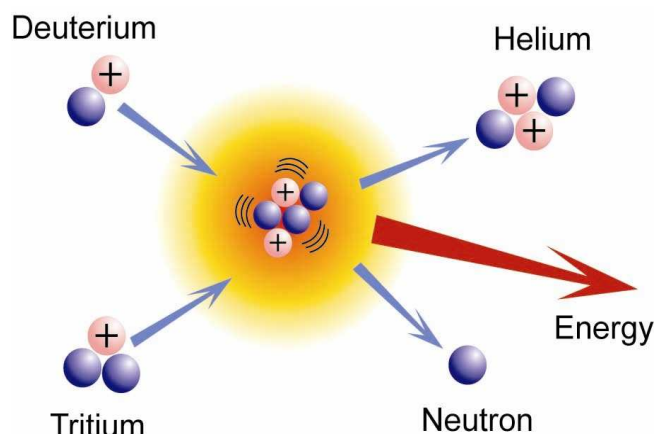
vyšší využití pasivních bezpečnostních prvků. Jde například o pasivní chlazení aktivní zóny, které může fungovat bez elektřiny i několik dní. Také je kladen důraz na zvýšení efektivity provozu, takže tyto reaktory ušetří téměř jednu pětinu paliva a vyprodukují až o 15% méně radioaktivních odpadů, než současné reaktory. Projektovaná životnost těchto reaktorů bude minimálně 60let.



Obrázek 5 Generace jaderných reaktorů [16]

Ale již dnes se na mezinárodní úrovni rozvíjejí spolupráce na projektech IV. generace reaktorů. Ty by měly přijít na řadu v roce 2030. Jejich projekty musí splňovat přísná kritéria bezpečnosti, spolehlivosti a ekonomičnosti. Zároveň nesmí ohrožovat dohodu o nešíření jaderných zbraní. Z hlediska ekonomičnosti by měl být časový úsek výstavby jaderné elektrárny kratší než tři roky a cenová konkurenceschopnost výroby elektřiny ve srovnání s ostatními zdroji elektrické energie. Pro bezpečnost byly zase určující faktory jako například mizivá pravděpodobnost poškození aktivní zóny reaktoru nebo tolerance reaktoru k chybám lidské obsluhy. Zatímco v současnosti je běžná provozní teplota v lehkovodních reaktorech do 330°C, u reaktorů IV. generace se pohybuje od 510°C až do 1000°C. Reaktory by tak dokázaly zajistit dostatečně vysoké teploty nutné k termochemickým postupům výroby vodíku. Důležitost včasného nasazení reaktorů IV. generace spočívá v tom, že by měly zajistit využití izotopu uranu 238 a jeho přeměnu na štěpný izotop plutonia 239. Právě proto je hlavní důraz v této generaci kladen na rychlé reaktory, které můžou pracovat i jako množivé. K tomu se musí dojít včas před vypotřebováním zásob uranu 235. Rychlé reaktory totiž ke svému provozu potřebují štěpný materiál. Z tohoto plyne, že musíme mít včas dostatečný počet rychlých reaktorů, aby stačily zásobovat potřebným štěpným materiálem jak sebe tak i klasické reaktory. Vhodnou kombinací rychlých a klasických reaktorů tak můžeme dosáhnout perspektivy intenzivního využití jaderné energie na staletí až tisíciletí. [12, 16]

5.5 Termojaderná fúze

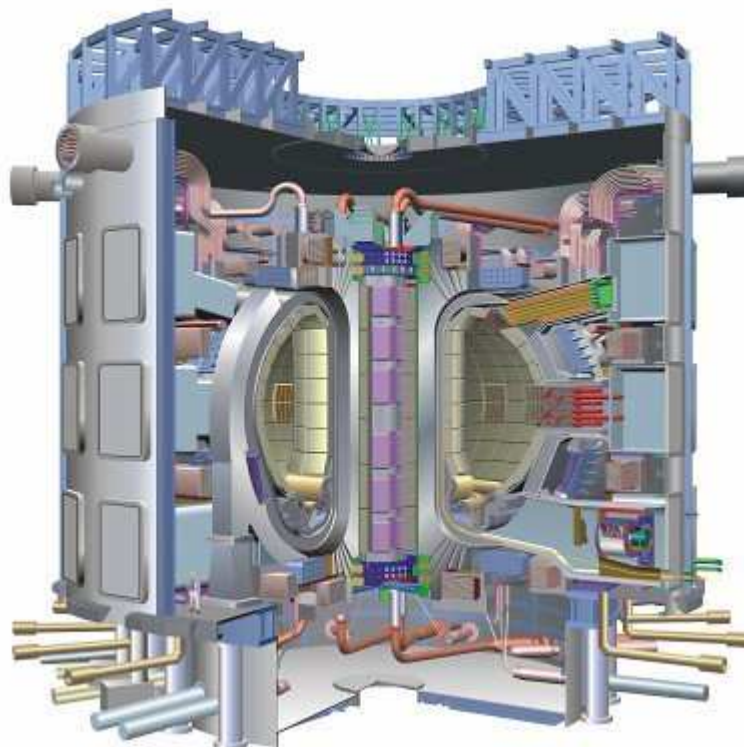


Obrázek 6 Princip termojaderné fúze [18]

Termojaderná fúze je založena na slučování lehkých prvků. Abychom donutili lehká jádra ke slučování, musíme překonat odpuzivé elektrostatické síly. Pokud se nám podaří tyto síly překonat a jádra dostat dostatečně blízko sebe, začnou nad elektrostatickými silami převládat síly jaderné, které jsou mnohem silnější, ale mají krátký dosah. Tyto odpuzivé síly můžeme překonat pokud jádrům dodáme dostatečně velkou kinetickou energii. Jelikož čím vyšší teplota hmoty tím je vyšší rychlost částic v ní obsažené. Stačí tedy plazmu nahřát na dostatečně vysokou teplotu. Problém je v tom, že je třeba dosáhnout teploty několika milionů stupňů Celsia. Jsou to podmínky podobné nitru hvězd, kde termojaderná fúze probíhá samovolně. Udržet takovou hmotu stabilní je velmi složité. Vědcům se to daří jen po dobu několika sekund. Z tohoto důvodu jsou termonukleární reaktory konstruovány jako uzavřená trubice, ve které je plazma udržována v prstenci silným magnetickým polem, takže se nedotýká stěn. Nejznámějším představitelem udržení plazmatu je TOKAMAK. Jedná se v podstatě o obrovský transformátor, jehož sekundární cívka má pouze jeden závit a má tvar toroidní trubice. Plazma tvořené deuteriem a tritiem se nachází právě uvnitř této trubice, ve které je jinak vakuum. Elektrický proud procházející primárním vinutím transformátoru indukuje elektromotorické napětí v sekundárním obvodu. V plynu deuteria a tritia vznikne výboj. Plyn se ionizuje a indukovaný proud jej zahřívá na velmi vysokou teplotu, okolo 100 000 000 °C. Magnetické pole tohoto proudu udrží vzniklé plazma v ose toroidu, takže se stěn toroidu nedotýká. Díky magnetickému poli, které udržuje plazma v dostatečné vzdálenosti od stěn, se sníží tepelné zatížení stěn komory na technologicky zvládnutelnou hodnotu. Předpokládané teplotní zatížení stěn je okolo 1000°C. Pro tvorbu plazmatu můžeme využít nejrůznějších izotopů lehkých prvků. Můžeme slučovat například izotopy vodíku. Při sloučení dvou jader deuteria vzniká jádro helia a volný neutron nebo jádro tritia a vodíku. Při těchto reakcích dochází k uvolňování velkého množství energie. Zdroj energie je prakticky nevyčerpatelný. Mořská voda obsahuje 33 gramů deuteria na 1m³ a 500kg paliva by stačilo pro roční provoz reaktoru a výkonu 500MW, navíc při slučování nevznikají dlouhodobě radioaktivní izotopy.

Naděje jsou vkládány do mezinárodního projektu ITER, který má sloužit pro vývoj komerčně využitých technologií. Jedná se v podstatě o Tokamak a to úctyhodných rozměrů. Prstenec má vnější průměr přibližně 20 m a výšku 15 m. ITER obsahuje soustavu obřích supravodivých elektromagnetů chlazených tekutým heliem. Celá soustava obsahuje celkem 18 cívek toroidního pole o rozměrech 14m na 9 m z nichž každá váží 290 tun. Dále je použito 6 cívek poloidálního pole a jeden centrální solenoid, který váží 840 tun, má 4 m v průměru a je 12 m vysoký. Materiál použitý pro hlavní supravodivé cívky je Nb₃Sn a pro pomocné cívky je z finančních důvodů použit NbTi. Další

podstatnou součástí prstence, ve kterém probíhá termonukleární reakce, je tzv. divertor, což je zařízení na dně prstence, které slouží k odčerpávání nabitých částic vznikajících při reakci. Jedná se zejména o helium a nečistoty způsobené interakcí částic plazmatu se stěnami reaktoru.



Obrázek 7 Termonukleární experimentální reaktor ITER [12]

Tento projekt je spoluprací zemí Evropské unie, Japonska, Ruska, Kanady a USA. Jeho pravděpodobné dokončení je momentálně odhlasováno zástupci partnerských stran na rok 2019. Spuštění tokamaku ITER na plný výkon se očekává až okolo roku 2026 a fúze by měla vyprodukovat desetkrát více energie, než je nevyhnutné pro její zažehnutí. [12, 13]

6 Eliminace negativního vlivu na životní prostředí

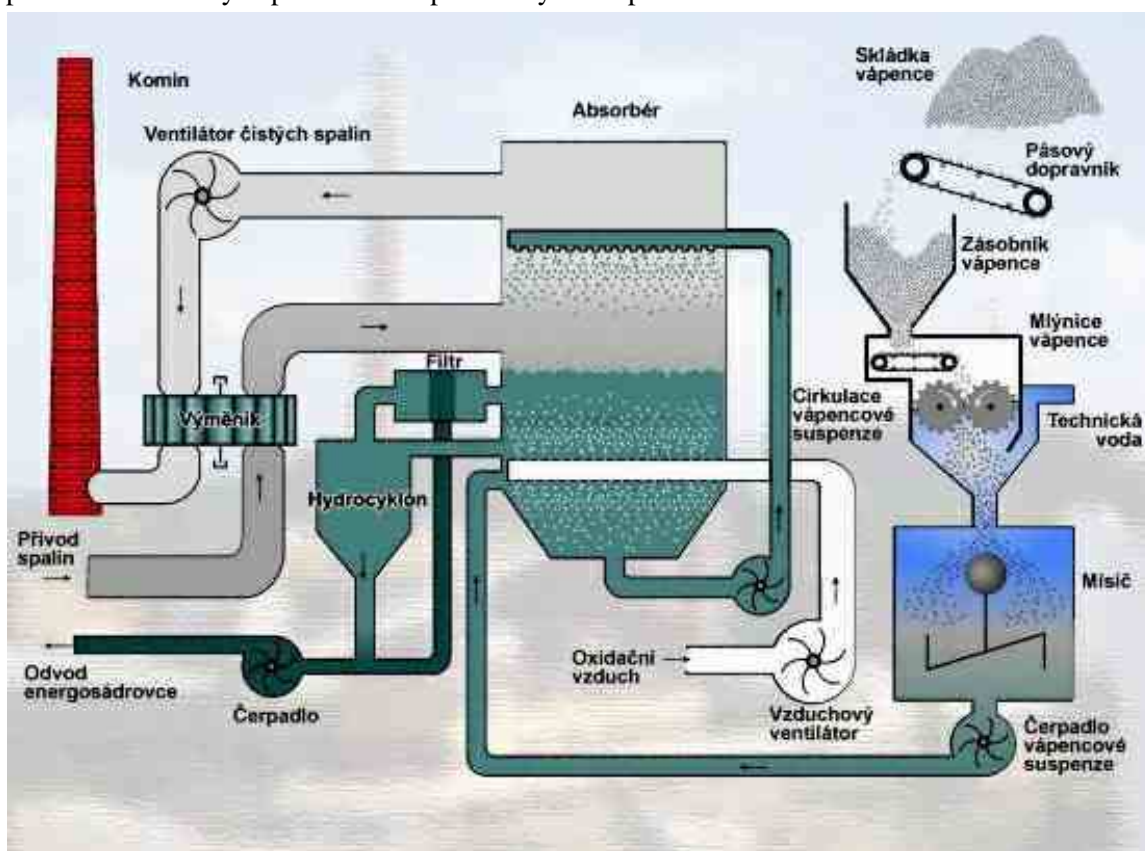
6.1 Vliv elektráren na fosilní paliva

Při spalování fosilních paliv v tepelných elektrárnách vznikají škodlivé látky které mají negativní dopad na ovzduší a škodí lidskému zdraví a přírodě. Vznikají oxidy síry, dusíku a uhlíku a dále potom mechanické sloučeniny jako je popel, škvára a popílek. Fosilní paliva pokrývají asi 80 % světové spotřeby energie. Ale jsou také největším zdrojem skleníkových plynů, kterých neustále přibývá. Emise oxidu uhličitého vzrůstají každý rok o 1,9 %. Největší díl viny nese právě výroba či spotřeba energie a doprava. Při získávání fosilních paliv a dalších nerostných surovin vznikají závažné ekologické a sociální škody. Abychom zmenšili emise CO_2 do atmosféry, roku 1997 je domluven Kjótský protokol. Tímto protokolem státy musely spoluúčinkovat ve snižování emisí CO_2 do atmosféry. Plánováno je průměrné zmenšení o 5.2% do roku 2012. Prozatím 97 států ratifikovalo

Kjótský protokol. Tyto státy spolupůsobí jenom 37% celkového plánovaného zmenšení emisí. Hlavní problémy u Kjótského protokolu jsou ty, že ho vůbec nepodepsaly některé státy. Patří k nim Spojené státy americké a rozvojové země, které jsou největšími znečišťovateli. [9]

6.2 Eliminace negativního vlivu na životní prostředí uhelných elektráren

Mezi nejškodlivější látky, které se mohou dostat spaliny do vzduchu, patří oxidy síry. Síra se v uhlí vyskytuje z menší části v anorganických sloučeninách, z větší ve formě organických sloučenin. Právě organické látky obsahující síru se při spalování oxidují na oxid siřičitý. Velmi důležitým krokem k ozdravení životního prostředí, je proto odsíření uhelných elektráren. Odsiřování spalín znamená snižování obsahu oxidu siřičitého ve spalínách před jejich vstupem do ovzduší. Za tímto účelem se mezi kotel a komín vestavují technologická zařízení, většinu odsiřovacích procesů však lze zařadit až na konec spalovacího cyklu, čili za kotel, a tím prakticky nezasahovat do výroby elektřiny a tepla. Metody, které se k odsíření kouřových plynů používají, se rozdělují na regenerační, neregenerační, suchou, polosuchou a mokrou. Při regenerační metodě se aktivní látka po reakci s oxidem siřičitým regeneruje a vrací zpět do procesu, oxid siřičitý se dále zpracovává. U neregenerační metody aktivní látka reaguje s oxidem siřičitým na dále využitelný nebo nevyužitelný produkt a zpět se do procesu nevrací. Při suché metodě oxid siřičitý reaguje s aktivní látkou v tuhém stavu. Polosuchou metodou aktivní látku vstřikujeme ve formě vodní suspenze do proudu horkých spalín, kapalina se poté odpaří a produkt reakce se zachycuje v tuhém stavu. U mokré metody vypíráme oxid siřičitý vápencovou suspenzí v kyselém prostředí.

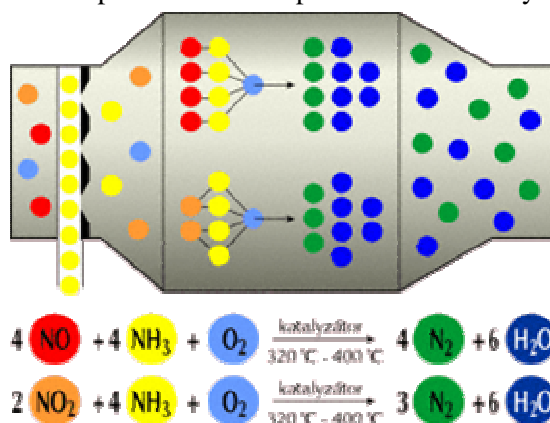


Obrázek 8 Odsíření mokrou vápencovou metodou [4]

České elektrárny používají jako metodu pro odsíření spalín převážně mokrou vápencovou vypírku. V absorbéru, což je nádoba o průměru 15 m a výšce 40 m, procházejí kouřové plyny

několikastupňovou sprchou, která rozstřikuje vápencovou suspenzi, čili rozemletý vápenec ve vodě. Oxid siřičitý reaguje a vzniká hydrogensířičitan vápenatý, který dále oxiduje na dihydrát síranu vápenatého. Vzniklý produkt tzv. energosádrovec lze výhodně využít pro výrobu sádry, stavebních dílů, cementu a stabilizátu.

Při spalování uhlí za vysokých teplot vznikají oxidací paliva se spalovacím vzduchem oxidy dusíku. V kotlích elektráren vzniká především oxid dusnatý, mění se na dioxid dusíku. Vedle něj se vyskytuje oxid dusitý a dusičnany. Emise oxidu dusíku lze snížit denitrifikací. Denitrifikace spalin je považována za technicky obtížnější, než odsíření. Kouřové plyny obsahují různé oxidy dusíku, přibližně 95 % je oxidu dusnatého, asi 5 % oxidu dusičitého, při teplotách pod 900 °C vzniká i oxid dusný. Organický dusík je obsažen v palivu i ve vzduchu při spalování. Kolik se ho oxidací atmosférického dusíku dostane do spalin závisí na teplotě a na obsahu kyslíku v zóně hoření.



Obrázek 9 Katalyzátor oxidů dusíku [4]

Metody snížení oxidů dusíku jsou dvojí. Primární, kdy se snažíme zabránit jejich vzniku řízením průběhu spalování a konstrukcí kotlů. Lze snížit emise oxidů dusíku o 40-60% při relativně nízkých nákladech. Při sekundární se likvidují již vzniklé oxidy dusíku. Používají se přitom selektivní katalytické a nekatalytické redukce. Selektivní katalytická redukce probíhá ve speciálním reaktoru. Katalyzátorem jsou oxidy vanadu, molybdenu nebo wolframu na nosiči z oxidu titaničitého. Do spalin se vstřikuje amoniak a směs se vede přes katalyzátory, kde vzniká elementární dusík a voda. Tato metoda je dražší, ale obsah oxidu dusíku ve spalinách lze snížit o 80-90 %.

Kromě plynů vzniká při spalování uhlí také popel. Popel je směs různě velkých částic. Více než tři čtvrtiny z celkového množství popela se vyskytují ve formě prachu se zrnitostí od tisícín milimetru do jednoho milimetru. Tato část je zachycována v elektrostatických odlučovačích, v nichž se dnes zachycuje více než 99,5 % veškerého popílku. Po výstupu z kotle spaliny vstupují do elektrostatického odlučovače popílku. Odlučovač popílku je velká komora, ve které jsou do proudu spalin umístěny sršící a usazovací elektrody. Sršící elektrody jsou dráty napájené stejnosměrným proudem o vysokém napětí, které nabíjejí kladným nábojem prolétající částičky prachu. Ty jsou pak přitahovány záporně nabitými sběracími elektrodami. Z nich je popílek pravidelně oklepáván do výsypek. [7, 8]

6.3 Vliv jaderných elektráren

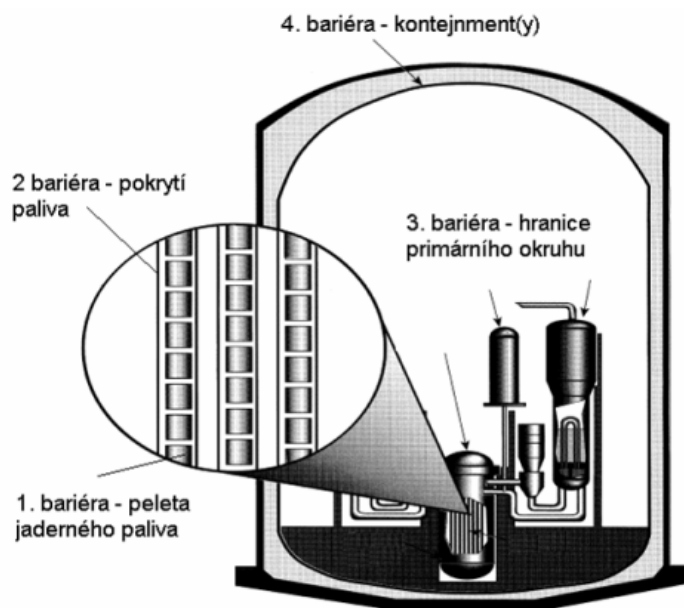
Provoz jaderné elektrárny, ovlivňuje okolní prostředí. Při objektivním porovnání jaderných elektráren s obdobnými zařízeními z hlediska jejich vlivu na okolní prostředí však vychází jaderné elektrárny jako zařízení, které je k okolnímu prostředí velmi šetrné. Nejčastěji diskutovaným vlivem jaderné elektrárny je radiační zátěž obyvatelstva a vliv na životní prostředí v jejím okolí. Pro objektivní posouzení vlivu jaderné elektrárny na okolí je třeba si uvědomit, že radioaktivita a ionizující záření není specifikem jaderných elektráren. Radioaktivita je fyzikální jev, který je součástí přírodního prostředí po celou dobu jeho existence. Člověk je, stejně jako všechny ostatní živé organismy, zasahován ionizujícím zářením po celou dobu svého vývoje. K přírodním zdrojům patří např. kosmické záření, radionuklidy obsažené v zemské kůře (v horninách, v půdě), radionuklidy obsažené ve vodě, v ovzduší, v potravinách.

Jaderná elektrárna na rozdíl od elektráren a tepláren spalujících fosilní paliva nevypouští žádné produkty spalování, jako jsou oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxidy uhlíku, prach a další škodlivé látky vznikající při spalování. Jaderné a uhelné elektrárny jsou v principu obdobné elektrárny, které se odlišují pouze zdrojem tepla potřebného pro získání páry. Jaderné elektrárny však nevypouštějí do ovzduší oxid uhličitý, protože u nich totiž nedochází ke spalování, při němž CO_2 vzniká. Díky tomu jaderná elektrárna nepřispívá ke zvyšování koncentrace skleníkových plynů. [6, 5]

6.4 Eliminace vlivu na životní prostředí jaderných elektráren

Vzhledem k tomu, že v jaderné energetice je praktikován vysoce nadstandardní přístup k bezpečnosti, jsou u dnešních elektráren havárie s únikem radioaktivity do okolí a ohrožení obyvatelstva prakticky vyloučeny. Jaderná elektrárna je navíc postavena tak, aby bez obtíží odolala zemětřesení či pádu letadla. Bezpečnost provozu hlídá řada zařízení, která působí samočinně, čili bez přívodu vnější energie, proti případnému rozvoji nepříznivé události. Jaderné elektrárny jsou vybaveny systémy, které automaticky sledují provozní parametry a v případě překročení určitých mezí samočinně startují a svou činností předcházejí rozvoji nepříznivého stavu. Důležité systémy jsou trojnásobně až čtyřnásobně zálohovány. Nadstandardní pozornost při testech a údržbě se věnuje těm zařízením, která mají vyšší tzv. bezpečnostní klasifikaci.

Úniku radioaktivních látek do okolí brání čtyři fyzické bariéry. Peleta paliva, pokrytí palivové zirkoniové trubičky, ocelové komponenty primárního okruhu s reaktorem a kontejnment. Všechny bariéry jsou on-line monitorovány a pravidelně testovány. Pro ochranu jednotlivých bariér je vždy připraveno několik zálohovaných bezpečnostních systémů. Stejně pečlivě jako se proti úniku radioaktivních látek sleduje funkčnost čtyř popsaných bariér, hlídají se a v každém okamžiku kontrolují tři základní bezpečnostní funkce. Mezi tyto funkce patří řízení reaktivity, odvod tepla z aktivní zóny reaktoru, zabránění úniků radioaktivních látek. Důležitá zařízení jsou vybavena systémem sebekontroly, který v případě hrozící nefunkčnosti spustí alarm, nebo uvedou do činnosti systém aktivní bezpečnosti.



Obrázek 10 Ochranné bariéry proti úniku radioaktivních látek [6]

Jaderná elektrárna se chrání i proti napadení řadou bezpečnostních opatření. Základním opatřením je rozdělení elektrárny na několik bezpečnostních pásem s omezeným přístupem zaměstnanců a s aktivními i pasivními prvky zabezpečení. Režim vstupu do elektrárny je přísnější než na letišti. U zaměstnanců se kontroluje, zda před vstupem do elektrárny nepožili alkohol nebo psychotropní látky. Ostrahu objektu vykonává speciálně vycvičený personál. Nad elektrárnou je bezletová zóna o průměru cca 4 000 m a výšce 1500 m. Všechny provozní manipulace na zařízeních jaderné elektrárny a další postupy jsou popsány v provozních předpisech a jejich znalost se pravidelně operátoři nacvičují na simulátoru. Vedení elektrárny klade velký důraz na vztah zaměstnanců elektrárny k bezpečnosti. V praxi jde o využívání propracovaného systému vzdělávání, kontrolu dodržování předpisů, prozkoumávání událostí a hledání cest, jak jim předejít, tedy o vytvoření podmínek pro samozřejmé, svědomité a aktivní plnění zásad bezpečnosti. Otázky bezpečnosti, kterým se věnuje maximální pozornost, jsou zakomponovány v řízení a rozhodování, a to jak ve fázi projektu, tak výstavby i provozu jaderné elektrárny. Postupy pro minimalizaci následků hypotetické havárie na obyvatelstvo stanovuje havarijní plán, který je pravidelně procvičován v simulovaných podmínkách havárie. Cvičení se účastní i záchranné složky a samospráva.

Co se týče konstrukce a odolnosti jsou jaderné elektrárny konstruovány tak aby dokázaly odolat nejružnějším typům vnějšího či vnitřního ohrožení. Riziko je přitom eliminováno jak aktivními kroky, tak i výběrem lokality. Mezi vnější ohrožení kterému musí jaderná elektrárna odolávat patří zemětřesení, extrémní podmínky počasí, pád letadla, ohrožení od okolních průmyslových objektů a dopravy, elektromagnetická interference, sabotáž. Dále pak musí odolávat vnitřním vlivům jako jsou požár, úniky vody, páry, plynů, chemikálií a jedovatých látek do životního prostředí, poruchy tlakových částí, podpěr, konstrukcí, roztržení rotujících částí, padající břemena, nepříznivé provozní stavy, abnormální stavy a havárie.

Další důležitým faktorem je radiační ochrana. Radiační situace v technologických zařízeních, v místnostech budovy reaktoru, v areálu elektrárny a v okolí je nepřetržitě monitorována. Kromě toho jsou kontinuálně vyhodnocovány plynné i kapalné výpusti z elektrárny a je sledován stav životního prostředí. Měření dokazují, že vliv výpustí z jaderné elektrárny je tisíckrát menší než jiné vlivy působící na člověka. [6]

7 Závěr

Spotřeba elektrické energie na zemi prudce narůstá. Předpokládá se že do roku 2030 se světová spotřeba energie zvýší téměř na dvojnásobek. Poptávka po ní poroste především v rozvojových zemích jako je Čína, Brazílie a Indie. Momentálně se jako ekologicky přijatelné řešení nabízejí obnovitelné zdroje, ale není možné, že se tyto zdroje rozvinou natolik, aby pokryly stále větší energetické potřeby lidstva. Sluneční energie nemá dostatečnou využitelnost a je drahá. Větrná energie není všude dostupná a energetický potenciál vody už je značně využitý. Z tohoto důvodu musíme stále spoléhat na fosilní paliva. Podíl vyrobené elektrické energie z fosilních paliv je ve světě největší a činí 66% z celkové výroby elektrické energie. Při spalování uhlí však vznikají skleníkové plyny, jenž mají negativní vliv na životní prostředí. Technický pokrok umožnil zredukovat oxidy síry a dusíku pomocí odsiřovacích a denitrifikačních jednotek. Stále se však vyvíjejí a zavádějí nové technologie za účelem zvýšení účinnosti elektrárny a snížení spotřeby paliva. Jedná se zejména o kogeneraci, zplyňování uhlí, zavádějí se nadkritické parametry páry a technologie IGCC, která umožňuje spalovat nekvalitní uhlí a těžké oleje. S využitím těchto technologií můžeme dosáhnout účinnosti až 50%. Ve vývoji je také magnetohydrodynamický generátor s nímž by bylo možné dosáhnout účinnosti až 60%. Zásadním problémem zůstává to, že neumíme zabránit úniku oxidu uhličitého do atmosféry. Světovým záměrem je právě snižování emisí oxidu uhličitého. Vyspělé státy světa se proto dohodly, že sníží vypouštění skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. Rozvojové země ovšem na tuto dohodu nechtějí přistoupit. Zásoby fosilních paliv ovšem nejsou neomezené, a proto musíme do budoucna počítat s jiným způsobem výroby elektrické energie. Řešením tohoto problému může být jaderná energie. Její podíl na výrobě elektřiny od roku 1980 stoupl z 8% na 16% světové produkce. Navíc jde o velmi čistou výrobu, která neprodukuje skleníkové plyny. Musí se však dbát na dostatečnou bezpečnost jaderného reaktoru, aby nedošlo k havárii jaká se stala v Černobylu na Ukrajině. Dnešní reaktory jsou na tom mnohem lépe. Mají spoustu pasivních bezpečnostních prvků a systémů ochrany. Navíc se už ve Finsku a Francii stavějí reaktory třetí generace. U těchto reaktorů dochází k intenzivnějšímu využití paliva, prodlužuje se doba pro jeho výměnu a zvyšuje se životnost elektrárny. Vědci a inženýři, ale nezháňejí a navrhli reaktory čtvrté generace. Jedná se převážně o rychlé množivé reaktory a snahu vyvinout uzavřený palivový a dosáhnout tak veškerého potenciálu paliva. Zatím je však dostatek uranu a jeho cena je levnější než recyklovaného, proto nástup rychlých reaktorů přijde až později. Ve vývinu je ovšem také termojaderná fúze, která je založena na slučování atomů lehkých prvků. Vzniká plazma o teplotě několika milionu stupňů Celsia. Plazma musí být udržováno magnetickým polem. Nejznámější zařízení je Tokamak. Naděje jsou pak vkládány do mezinárodního projektu ITER. Je to Tokamak velkých rozměrů, který se staví ve Francii a měl by být dokončen pravděpodobně v roce 2019. Jako palivo se používá deuterium, které můžeme získat z mořské vody. Zdroj paliva je tak takřka nevyčerpatelný a nevznikají dlouhodobě radioaktivní izotopy. Jaderné elektrárny jsou tedy šetrné k životnímu prostředí a dokážou pokrýt velkou část výroby elektrické energie. S rostoucí spotřebou energie se v budoucnu bez jaderných elektráren neobejdeme.

Literatura

- [1] Brauner J., Šindler Z. *Elektrická část elektrárny*, VŠB Ostrava 1987
- [2] Mezinárodní energetická ročenka 2006. vydala agentura ČSTZ, s.r.o. a CONTE spol. s.r.o. 2006. ISBN 80-86028-07-0
- [3] Československá komise pro atomovou energii. *Jaderná energetika, životní prostředí a člověk*. Praha 1986
- [4] Otčenášek P. *Elektrická energie pro Českou Republiku*, Praha 2006
- [5] *Zdroje energie* [online]
URL: <<http://zdrojeenergie.blogspot.com>> [cit.9-11-2009]
- [6] *Výroba elektřiny* [online]
URL: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny.html>> [cit.12-11-2009]
- [7] *Vodní a tepelné elektrárny* [online]
URL: <<http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz>> [cit.13-3-2010]
- [8] *Jaderná energie a ekologie* [online]
URL: <<http://www.ekologie-energie.cz>> [cit.20-3-2010]
- [9] *Změna klimatu* [online]
URL: <<http://www.zmenaklimatu.cz/dosavadni-zmeny-klimatu.html>> [cit.3-4-2010]
- [10] *Význam uhlí pro budoucnost* [online]
URL: <<http://www.spoluziti.cz>> [cit.10-4-2010]
- [11] *Energetický regulační úřad* [online]
URL: <<http://www.eru.cz>> [cit.30-4-2010]
- [12] Burket, D. *Jedinou skutečnou alternativou je atom* [online]
URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3252>> [cit.30-4-2010]
- [13] *ITER-Tokamak nové generace* [online]
URL: <http://aldebaran.cz/bulletin/2003_39_itr.html> [cit.12-4-2010]
- [14] *Ekologické bydlení* [online]
URL: <<http://www.ekobydleni.eu/energie/amerika-chce-cistou-energii-z-uhli-futuregen>> [cit.1-5-2010]
- [15] *Ekologické bydlení* [online]
URL: <<http://www.ekobydleni.eu/zivotni-prostredi>> [cit.1-5-2010]
- [16] *Reaktory IV. Generace* [online]
URL: <<http://www.osel.cz/index.php?clanek=3568>> [cit.1-5-2010]
- [17] *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla*
URL: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspor-y-energie>> [cit.1-5-2010]
- [18] URL: <<http://www.nazeleno.cz>> [cit.1-5-2010]